

VIANDES & PRODUITS CARNÉS

LA REVUE FRANÇAISE DE LA RECHERCHE EN VIANDES ET PRODUITS CARNÉS

HORS-SÉRIE

14^e journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes »

13 et 14 novembre 2012 à Caen



Avec le soutien financier de



ont également participé _____



À l'initiative de _____





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

Le rendez-vous des scientifiques et professionnels de la viande et des produits carnés

Introduction

Les JSMTV sont organisées en deux journées pour informer et échanger sur les récentes avancées de la recherche et leurs applications en lien avec les préoccupations des opérateurs techniques et économiques du secteur des produits carnés (viandes blanches, viandes rouges et chairs de poisson).

La 14^{ème} édition des JSMTV se tiendra les 13 et 14 novembre 2012 à l'Université de Caen (Campus 1, site de l'ESIX Normandie). Dans ce cadre, les équipes francophones de recherche et de développement des secteurs publics, professionnels et privés sont invitées à présenter les résultats de leurs travaux auprès des acteurs techniques, économiques, et scientifiques des filières de production et de transformation des viandes, produits carnés et piscicoles.

L'Institut de l'Elevage, l'INRA de Rennes, l'IFIP et l'ESIX Normandie (Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Caen-Basse Normandie) se sont mobilisés pour l'organisation de cette 14^{ème} édition à Caen. Ces journées, initiées par le Groupement d'Intérêt Scientifique « Muscle Viande et Produits Carnés » (GIS MVPC), ont bénéficié de l'appui du Pôle de compétitivité Valorial, qui réunira sa commission viande à cette occasion, ainsi que des Instituts de recherche (INRA) et de recherche-développement (Institut de l'Elevage, IFIP, ADIV et ITAVI) réunis au sein du Comité Scientifique. Les 14^{èmes} JSMTV ont été organisées avec le soutien financier de FranceAgriMer, du Département INRA-Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage, de la Ville de Caen, du Département du Calvados et de la Région Basse Normandie.

La 14^{ème} édition des JSMTV est composée de cinq sessions thématiques :

- **Qualité et Valeur Santé des Produits.** Responsables de thématique : Didier REMOND (INRA UNH) et Jérôme NORMAND (Institut de l'Elevage) ; Animation : Dominique BAUCHART (INRA UMRH) et Jérôme NORMAND (Institut de l'Elevage)
- **Impacts Environnementaux.** Responsable de thématique : Pierre-Henry DEVILLERS (ADIV) ; Animation : Pierre-Henry DEVILLERS (ADIV) et Christophe DAGOT (ENSIL)
- **Maîtrise de l'Hygiène et de la Sécurité Sanitaire.** Responsables de thématique : Régine Talon (INRA MICA) et Brice Minvielle (IFIP) ; Animation : Régine Talon (INRA MICA), Brice Minvielle (IFIP) et Philippe CARTIER (Institut de l'Elevage / ESIX)
- **Maîtrise des Procédés.** Responsable de thématique : Jean-Dominique DAUDIN (INRA UR QuaPA) ; Animation : Jean-Dominique DAUDIN (INRA UR QuaPA) et Laurent PICGIRARD (ADIV)
- **Bases Biologiques de la Qualité et Génétique/Génomique.** Responsables de thématique : Florence Lefevre (INRA Physiologie et Génomique des Poissons) et Gilles RENAND (INRA GABI) ; Animation : Bénédicte LEBRET (INRA UMR) et Carine CAPEL (Institut de l'Elevage / APIS-GENE)



Ces sessions seront complétées par une conférence plénière d'ouverture sur « **La durabilité des circuits courts de proximité** » présentée par Barbara REDLINGSHÖFER (INRA MaR/S), ainsi que par une table ronde sur « **L'assainissement des contaminations des viandes : ses aspects techniques et réglementaires** », animée par Jean-Erik BLOCHET (ZOOPOLE ISPAIA / Valorial) et avec la participation des filières et de la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL).

Chaque session comprend :

- une ou plusieurs conférences d'introduction par des intervenants invités par le Comité Scientifique (18 min. de présentation suivies de 8 min. de discussion),
- des communications orales courtes (8 min. suivies de 4 min. de discussion) sélectionnées parmi les communications proposées,
- des communications par affiche impliquant une brève présentation orale (1 min 30s.) et un temps de discussion avec les auteurs pendant les temps aménagés pour la visite des affiches organisées par thème.

Ce document - publié dans le Numéro Hors-Série de la Revue "Viandes & Produits Carnés" - comprend l'ensemble des textes correspondant aux conférences et aux communications présentées par voies orale et d'affiche et sera remis à chaque participant.

Plus de 150 participants sont attendus pour suivre les 9 conférences invitées et les 18 communications courtes, et échanger avec les auteurs des 38 affiches ainsi qu'avec les intervenants de la table ronde. Ces échanges fructueux entre les mondes scientifique et professionnel pourront se prolonger au cours de la soirée festive qui sera l'occasion de vous faire découvrir ou redécouvrir l'Abbaye aux Hommes, l'un des principaux bâtiments fondés par Guillaume le Conquérant, avant de déguster les produits et recettes du terroir Normand dans ce cadre d'exception.

Le comité d'organisation vous souhaite la bienvenue à l'Université de Caen, site de l'ESIX Normandie, et vous remercie de votre contribution à la réussite de ces 14^{èmes} Journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes ».

Dominique Bauchart, responsable du Comité Scientifique des 14^{èmes} JSMTV
(INRA UMRH / Président du Conseil Scientifique du GIS MVPC)

et

Caroline Evrat Georgel, responsable du Comité d'organisation des 14^{èmes} JSMTV
(Institut de l'Elevage, Responsable de projet au sein du Service Qualité des Viandes)



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

Membres constituant les Comités des 14^{èmes} JSMTV

Comité Scientifique des 14^{èmes} JSMTV

Bauchart Dominique (INRA Clermont-Ferrand/Theix)

Berri Cécile (INRA Tours)
 Blochet Jean-Erik (ZOOPOLE Ploufragan - Valorial)
 Cartier Philippe (Institut de l'Elevage Villers-Bocage)
 Daudin Jean-Dominique (INRA Clermont-Ferrand/Theix)
 Denoyelle Christophe (Institut de l'Elevage Paris)
 Devillers Pierre Henry (ADIV Agen)
 Evrat Georgel Caroline (Institut de l'Elevage Paris)
 Fostier Bernard (IFIP Paris)
 Lefèvre Florence (INRA Rennes)
 Minvielle Brice (IFIP Le Rheu)
 Mourrot Jacques (INRA Rennes)
 Normand Jérôme (Institut de l'Elevage Lyon)
 Picard Brigitte (INRA Clermont-Ferrand/Theix)
 Rémond Didier (INRA Clermont-Ferrand/Theix)
 Renand Gilles (INRA Jouy-en-Josas)
 Talon Régine (INRA Clermont-Ferrand/Theix)

Comité d'organisation des 14^{èmes} JSMTV

Allié Magali (Institut de l'Elevage Laxou)
 Bauchart Dominique (INRA Clermont-Ferrand/Theix)
 Buisine Elisabeth (Institut de l'Elevage Villers-Bocage)
Evrat Georgel Caroline (Institut de l'Elevage Paris)
 Fostier Bernard (IFIP Paris)
 Lefèvre Florence (INRA Rennes)
 Marhin Patricia (INRA Rennes)
 Meunier Laurent (Vigie Viande)
 Mourrot Jacques (INRA Rennes)
 Noiraud-Romy Nathalie (ESIX-Normandie Caen)
 Picard Brigitte (INRA Clermont-Ferrand/Theix)

TABLE DES MATIÈRES

Conférence d'ouverture

Conférence invitée

Comment analyser les circuits courts de proximité du point de vue de leur durabilité ? Premiers éléments de réponses <u>B. Redlingshöfer</u>	1
---	---

Qualité et Valeur Santé

Conférence invitée

Oxydation des lipides et des protéines des viandes au cours des processus de transformation : mécanismes, conséquences et prévention D. Durand, <u>M. Gobert</u> et P. Gatellier	9
---	---

Communications courtes

Substitution partielle d'huile de poisson par de la graine de lin extrudée chez la truite arc-en-ciel - effet sur les performances de croissance, les rendements de transformation et le profil en acides gras des filets <u>G. Mairesse</u> , G. Chesneau, L. Labbe et P. Weill	17
Effets de la nature de la supplémentation lipidique, du mode de conservation et de la cuisson sur les qualités nutritionnelles et sensorielles de la viande hachée bovine <u>J. Normand</u> , A. Bertout, D. Le Pichon, D. Bastien et D. Ribaud	19
Effet de l'apport d'acides gras n-3 et d'antioxydants végétaux dans l'alimentation du porc sur les qualités nutritionnelles et sensorielles du jambon sec <u>J. Mourot</u> , N. Robert, L. Raynaud, M. Arturo-Schaan et L. Roger	21
Un mode de conduite biologique et un niveau élevé d'herbe améliorent la qualité nutritionnelle des acides gras de la viande chez l'agneau engraisé au pâturage <u>D. Bauchart</u> , K. Oueslati, A. Thomas, J. Ballet et S. Prache	23
La température de cuisson de la viande permet de moduler la vitesse de digestion des protéines, sans affecter la digestibilité dans l'intestin grêle <u>M.-L. Bax</u> , C. Buffière, N. Hafnaoui, C. Gaudichon, V. Santé-Lhoutellier et D. Rémond	25

Posters

Digestibilité de différents produits à base de graines de lin extrudées chez la truite arc-en-ciel et effet à court terme sur le profil en acides gras des poissons <u>G. Mairesse</u> , G. Chesneau, P. Aguirre, F. Medale et P. Weill	27
Composition en acides gras du muscle pectoralis major de poulets de chair nourris par des régimes supplémentés à la spiruline (spirulina SP) D. Ait-Saada, <u>K. Boudroua</u> , J. Mourot, R. Keddou, G. Selselet-Attou et O. Ait-Chaabane	29
Amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande de canard de barbarie par l'introduction de graines de lin extrudées dans l'alimentation <u>M. Guillevic</u> , P. Kervevan, N. Kerhoas et G. Chesneau	31
L'huile de cameline associée à des extraits végétaux favorise le dépôt des AGPI n-3 et limite la lipoperoxydation dans le muscle longissimus dorsi chez le porc en finition <u>N. Ciuca-Lefter</u> , D. Bauchart, A. Thomas, M. Hăbeanu, I. Taranu, D. Dragotoiu et D. Durand	33
Effet de l'apport d'acides gras n-3 et d'antioxydants végétaux dans l'aliment sur les qualités nutritionnelles et sensorielles de la viande de lapin	

J. Mourot, K. Meteau, M. Arturo-Schaan, K. Bebin, C. Briens, L. Grenet, L. Lartigue et C. Rousseau	35
Potentiel de la spectroscopie de fluorescence pour la prédiction des teneurs en acides gras dans la viande bovine : comparaison entre les méthodes frontale et synchrone	
M. Ouanezar, D. Gruffat, A. Aït-Kaddour, J. Mardon, S. Jacquot, A. Ferlay et D. Bauchart	37
Détermination en abattoir du profil en acides gras des bardières de porc à l'aide d'un spectromètre proche-infrarouge portatif	
G. Mairesse, P. Douzenel, J. Mourot, A. Vautier, R. Le Page, J.-M. Goujon, L. Poffo, O. Sire et G. Chesneau	39

Impacts Environnementaux

Conférence invitée

Méthanisation des jus de pressage des sous-produits d'abattage	
A. Prorot, P.-H. Devillers, X. Aleyrangués et P. Leprat	41

Communications courtes

Recherche de méthode d'évaluation de l'expression de l'empreinte carbone des produits viande	
C. Lapasin, A. Gac, V. Scislowski, P. Chevillon et S. Guardia	49
Valorisation des sous produits de l'industrie de transformation du thon	
D. Amalou	51

Maîtrise de l'Hygiène et Sécurité Sanitaire

Conférences invitées

La filière bovine française face aux Escherichia Coli Enterohemorragiques (EHEC) : plan de maîtrise en 2012 et orientation des recherches	
P. Cartier, D. Bibbal, E. Loukiadis, E. Gay, F. Auvray et H. Brugère	53
Les dangers chimiques dans les viandes : les plans de surveillance et de contrôle	
I. Fournet	61

Communications courtes

Yersinia enterocolitica: fréquence de contamination des amygdales, fèces et carcasses de porc dans un abattoir breton	
C. Feurer, G. Piaudel, A. Le Roux et B. Minvielle	65
Des bactéries bioprotectrices pour améliorer la qualité des produits de la mer	
F. Leroi, A. Brillet-Viel, F. Chevalier, M. Cardinal, J. Cornet et M.F. Pilet	67
Validation de la qualité de la viande hachée de porc par une approche métagénomique ciblée	
B. Taminiau, C. Nezer, Y. Adolphe, L. Delhalle, J.-B. Poulet, A. Clinquart et G. Daube	69

Posters

Viandes bovines à longue durée de conservation conditionnées sous vide : isolement et caractérisation de souches de Carnobacterium	
P. Imazaki, A. Tahiri, A. Rodrigues, B. Taminiau, C. Nezer, G. Daube et A. Clinquart	71
Alternatives aux stérilisateurs à 82°C : recensement et validation de méthodes	
A. Le Roux, S. Christeians, V. Hardit et B. Minvielle	73
Outils de la gestion de la qualité et de la sécurité alimentaire : le HACCP méthodologie et impacts	
S. Lezzoum et B. Bendeddouch	75

Pratiques et conditions d'abattage dans la région algérienne <u>M. Sadoud</u>	77
Contribution à l'étude des motifs de saisie des viandes blanches (poulet de chair) dans deux établissements d'abattage de la région d'Alger S. Regguem, <u>T.M. Hamdi</u> et S. Zenia	79
Evaluation qualitative et quantitative du degré de contamination par les listeria spp. dans les viandes bovines et ovines dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie) L. Aba, <u>T.M. Hamdi</u> et E.H. Lebres	81
L'impact de la congélation des viandes rouges à longue durée sur les microorganismes <u>K. Ziani</u> et M.B. Khaled	83

Maitrise des Procédés

Conférences invitées

Réduction des ingrédients dans les charcuteries sèches <u>P.-S. Mirade</u>	85
Des solutions technologiques et robotiques au service de l'automatisation de l'abattage et de la découpe de viande <u>M. Alric</u>	93

Communications courtes

Utilisation de modèles de transferts et de réactions pour déterminer les pertes en micronutriments au cours de la cuisson des viandes. Illustration de l'approche dans le cas de la vitamine B6 <u>S. Portanguen</u> , V. Scislawski, C. Duchene, G. Gandemer et A. Kondjoyan	101
Utilisation de la tomographie à rayon X pour prédire le rendement de découpe des carcasses d'agneaux dans un cadre industriel <u>J. Normand</u> et M. Ferrand	103
Évolution de la protéolyse au sein de muscles de porc en fonction de la température et des teneurs en eau et en chlorure de sodium <u>R. Harkouss</u> , H. Safa, P. Gatellier, A. Lebert et P.S. Mirade	105

Posters

Impact du barème de cuisson et du type de muscle sur la couleur, la texture et les pertes à la cuisson de viandes bovines cuites sous vide <u>L. Picgirard</u>	107
Un simulateur pour l'étude du malaxage des viandes ; Incidence du traitement mécanique sur le transfert du sel <u>D. Sharedeh</u> , J.M. Auberger, R. Favier, S. Portanguen et J.D. Daudin	109
Dégradation de l'endomysium lors du salage et du malaxage de deux muscles de porc <u>D. Sharedeh</u> , F. Chekrar, J.D. Daudin et A. Vénien	111
Noircissement des os : évaluation des facteurs de risque chez le veau de boucherie <u>C. Bièche</u> , I. Legrand, F. Turin et V. Hardit	113
Lien entre modifications physicochimiques des protéines et perte de poids à la cuisson - Cas de jambons cuits avec différents taux de NaCl <u>L. Bombrun</u> , J. Danon et A. Kondjoyan	115
L'effet attendrissant de la cuisson basse température mesurés sur des rôtis de bœuf <u>P. Tribot Laspiere</u> et F. Turin	117
Impact d'un temps de repos entre l'injection et la cuisson sur les qualités technologiques de viandes bovines cuites <u>E. Parafita</u> et E. Patissier	119
Effet du taux de NaCl sur l'évolution structurale et ultrastructurale du muscle semimembranosus de porc au cours de la fabrication du jambon cuit	

<u>O. Loison</u> , J. Danon, A. Vénien et T. Astruc	121
Vers une modélisation mathématique des modifications physicochimiques des protéines lors du chauffage	
<u>A. Promeyrat</u> , P. Gatellier, B. Broyart, A. Kondjoyan et J.D. Daudin	123
Impact du mode de salage de jambons secs sur l'évolution du taux de sel et de l'Aw des masses musculaires au fil du procédé	
<u>L. Picgirard</u> et M. Monziols	125

Bases Biologiques de la Qualité et Génétique / Génomique

Conférences invitées

Génomique et viande : quelles avancées, quelles applications ?	
<u>B. Picard</u> , C. Berri, B. Lebret, F. Lefèvre, L. Liaubet, M. Damon, E. Le Bihan-Duval, I. Cassar-Malek, J.-F. Hocquette et G. Renand	127
Stress à l'abattage et qualités des viandes : les liens se confirment	
<u>C. Terlouw</u> , C. Bourguet, I. Cassar-Malek, V. Deiss, B. Lebret, F. Lefèvre et B. Picard	135

Communications courtes

Optimiser le pH ultime des filets de poulet en modulant le profil en acides aminés de l'aliment en fin d'élevage	
<u>C. Berri</u> , S. Guardia, M. Lessire, S. Tesseraud, S. Métayer-Coustard, T. Bordeau et I. Bouvarel	143
Origine des matières premières de l'aliment : conséquences sur la qualité de la chair de truite et de bar	
<u>F. Lefèvre</u> , J. Bugeon, M. Dupont-Nivet, F. Medale, L. Labbe, B. Quittet, P. Haffray, R. Le Boucher, S. Laureau, E. Quillet, S. Vergnet, S. Kaushik et M. Vandeputte	145
Les molécules de la matrice extracellulaire chez le bovin : relation avec les qualités organoleptiques de la viande	
<u>A. Dubost</u> , D. Micol, B. Picard, C. Lethias et A. Listrat	147
Détection de QTL avec la puce PorcineSNP60 pour des indicateurs de la qualité technologique de la viande dans une population Large White	
<u>M.-P. Sanchez</u> , T. Tribout, N. Iannuccelli, M. Bouffaud, B. Servin, P. Dehais, N. Muller, M.-J. Mercat, J. Estellé, J.-P. Bidanel, C. Rogel-Gaillard, D. Milan et H. Gilbert	149
Atol : une ontologie dédiée aux traits des animaux d'élevage, un exemple sur le thème de la croissance et de la qualité de la viande	
<u>J. Bugeon</u> , E. Baéza, J.-P. Brun, I. Cassar-Malek, A. Chatonnet, M. Duclos, X. Fernandez, F. Gondret, I. Hue, C. Jurie, S. Leibovitch, B. Picard, S. Prache, P.-Y. Rescan et P.-Y. Le Bail	151

Posters

Évaluation sensorielle de viandes issues de race gasconne : une comparaison dans les régions frontalières au Nord et Sud des Pyrénées	
<u>P. Sans</u> , N. Panella-Riera, S. Khliji, M. Gil, M. Blanch, M. Campo, C. Sañudo, I. Sanjuan et M.-A. Oliver	153
Analyse des performances à l'abattage de bovins de quatre Label Rouge en Aquitaine	
A. Dauvergne, F. Pallavidino, A. Dauba, F. Bessouat, S. Lavigne, H. Jacob et <u>M.-P. Ellies-Oury</u>	155
Evaluation de l'impact de la filière de production porcine sur les caractéristiques des jambons de l'IGP (Indication Géographique Protégée) Jambon d'Ardenne	
<u>P. Dzaomuh</u> , P. Eloundou-Mballa, N. Mabon et M. Sindic	157
Caractéristiques de la viande d'agneaux de race Barbarine en Bergerie : influence de la durée de la période de finition et du taux d'incorporation de la féverole	
<u>H. Boukhris</u> et C. Damergi	159
Effet du sang résiduel sur la qualité de la viande de poulet	
<u>M. Bourbab Et Idaomar</u>	161
Qualité de la viande des taurillons Holstein abattus à deux saisons différentes	
<u>A. Slimene</u> , C. Damergi, T. Najjar, L. Chammakhi et M. Ben Mrad	163

Réversibilité des effets d'une température d'élevage basse sur le métabolisme musculaire et la qualité de la viande chez le porc J. Faure, L. Lefaucheur, N. Bonhomme, P. Ecolan, K. Meteau, M. Kouba et <u>B. Lebret</u>	165
La réponse transcriptionnelle au stress décortiquée à l'aide de la bioinformatique <u>I. Cassar-Malek</u> , L. Pomiès, A. De La Foye et B. Picard	167
Utilisation des outil de bio-informatique pour reveler des proteines partenaires de hsp27 <u>M. Kammoun</u> , B. Picard, J. Henry-Berger et I. Cassar-Malek	169
Détection fine de QTL de tendreté de la viande dans trois races allaitantes françaises <u>S. Allais</u> , L. Journaux, J. Lepetit, S. Rousset, C. Denoyelle, C. Bernard-Capel, J.-F. Hocquette, H. Leveziel, M.-N. Rossignol et G. Renand	171
Méta-analyse des relations entre tendreté et caractéristiques musculaires de la viande bovine <u>S. Chriki</u> , G. Renand, B. Picard, D. Micol, L. Journaux et J.-F. Hocquette	173
Premiers résultats d'une expérience de sélection divergente sur le pH ultime de la viande chez le poulet. <u>E. Le Bihan-Duval</u> , M. Chabault, M. Boulay, S. Guardia, Y. Jégo, E. Baéza et C. Berri	175
Transcriptome du muscle longissimus et qualite de la viande de porc Basque <u>M. Damon</u> , K. Denieul et B. Lebret	177
Caractéristiques musculaires de truites triées sur la texture de leur chair <u>F. Lefèvre</u> , G. Paboeuf, J. Montfort, A. Le Cam, L. Labbe, R. Le Boucher, E. Quillet, M. Dupont-Nivet et J. Bugeon ..	179



Conférence d'ouverture

COMMENT ANALYSER LES CIRCUITS COURTS DE PROXIMITE DU POINT DE VUE DE LEUR DURABILITE ? PREMIERS ELEMENTS DE REPONSES

REDLINGSHÖFER B.¹

¹ Mission d'anticipation Recherche/Société & Développement durable (MaR/S), INRA, 147 rue de l'université, 75338 Paris cedex 7 ; barbara.redlingshofer@paris.inra.fr

Abstract : Short supply chains and sustainability: Evidence from the literature, evidence from the field

Short supply chains are being promoted as a reference model on the transition towards sustainable food systems. Arguments put forward in favor of short supply chains are environmental, social and economic considerations. Yet little is known from the scientific literature on this topic. This paper critically reviews the scientific rationale on the sustainability character of short supply chains. In a first part, it provides an overview of sustainability analysis methods and criteria and discusses literature on the environmental, social and economic argumentation related to short supply chains. In a second part specific opportunities and obstacles related to animal-sourced foods are described. The paper highlights strengths and weaknesses as to the sustainability character of short supply chains. Innovative producer-consumer based initiatives show potential to move towards more sustainable food systems.

Introduction

Depuis plusieurs années, les initiatives qui rapprochent producteurs et consommateurs ne cessent de se multiplier, en France comme dans d'autres pays. Si les fameuses Amap¹, groupement de consommateurs en contrat avec un agriculteur, sont les plus médiatisées, elles ne sont qu'une parmi diverses formes de circuits courts dans un paysage florissant.

C'est en 2009 que le Ministère de l'Agriculture a présenté un plan d'action pour soutenir le développement des circuits courts². Il les définit comme un mode de commercialisation des produits agricoles limité à un intermédiaire au maximum. Ce critère de limitation à un intermédiaire au maximum permet toutefois une grande diversité de modalités, des plus anciennes (vente à la ferme, marché forain, stand le long d'une route) aux plus innovantes (Amap, paniers en gare, vente à distance par internet) et des plus autonomes aux plus intégrées dans le système de distribution (commerçant détaillant, grande distribution, restauration collective et gastronomique). Contrairement aux notions de produits locaux et produits de proximité, cette définition des circuits courts n'inclut pas de limitation spatiale. Au sein d'un périmètre restreint, les circuits courts sont qualifiés de proximité. Ces systèmes de commercialisation alimentaire alternatifs, contraire à une distribution massifiée et avec de nombreux intermédiaires reçoivent une attention et un soutien accrus de la part d'acteurs (consommateurs, élus, associatifs, professionnels) en quête de changements, voire de rupture (Deverre et Lamine, 2010) avec un *globalized agri-food system* (Morgan et al. 2006) qui, aujourd'hui, apparaît de moins en moins en accord avec les attentes sociétales.

Très développés en France dans les secteurs du miel et des légumes (environ la moitié des exploitations commercialise tout ou une partie de ces produits en circuits courts), suivi par les fruits et les produits de la vigne, les circuits courts sont bien moins développés pour les produits animaux (hors miel). Moins de 10% des exploitations produisant œufs, viandes de volaille, de porc et de bovin, lait ou produits dérivés les vendent en circuits courts (Agreste Primeur, 2012). Or, la demande des consommateurs pour ces produits porte sur un large panel ce qui encourage les agriculteurs à diversifier leurs productions.

Aujourd'hui, les circuits courts alimentaires, dans toute leur diversité, sont perçus comme un modèle de référence dans une transition vers des systèmes alimentaires durables. Ils font échos à de nombreux arguments des trois domaines fondamentaux du développement durable – environnemental, économique et social.

Cependant, cette liaison au développement durable, tantôt sous-entendue tantôt affirmative, a rarement été abordée explicitement par la recherche française ou étrangère. Il est alors nécessaire de questionner, en termes de durabilité, l'apport des circuits courts aux systèmes alimentaires, dans leurs diverses formes d'organisation. Au vu des statistiques françaises, il faut également se demander quels facteurs particuliers expliquent que les produits d'origine animale sont sous-représentés dans les circuits courts.

Ce texte propose d'apporter des éléments de réponse à ces deux questions et s'organise donc en deux parties : une première partie est constituée d'un point succinct des diverses approches méthodologiques de l'analyse de la durabilité et d'un aperçu des critères des dimensions environnementale, sociale et économique ; cette partie est complétée par un ensemble de travaux apportant des éléments de réponse à la contribution des circuits courts à la

¹ Association pour le maintien d'une agriculture paysanne

² http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_primeur275.pdf

durabilité des systèmes alimentaires. Une deuxième partie explore la situation spécifique, les opportunités et les contraintes des filières animales face aux circuits courts.

Quelle méthode d'évaluation de la durabilité et quels critères ?

De nombreux outils d'évaluation basés sur des indicateurs ont émergé depuis une dizaine d'années, en France et à l'étranger, adaptés à des objets d'analyse et des échelles variés. D'abord, des outils orientés vers l'analyse environnementale ont été mobilisés, certains étant restreints sur une (Bilan Carbone par exemple) ou plusieurs (Analyse de cycle de vie, etc.) problématiques environnementales. Mais dans la perspective plus globale de la durabilité, les résultats de tels outils ne sont que partiellement satisfaisants. Il faut considérer non seulement la santé des écosystèmes, mais aussi les conditions économiques et sociales de la vie des hommes et des femmes. Il a fallu chercher à compléter ces outils afin de pouvoir évaluer également les aspects économiques et sociaux des systèmes agricoles et alimentaires. Aujourd'hui, l'analyse de cycle de vie, à la base environnementale, évolue vers une analyse de durabilité du cycle de vie (*Life cycle sustainability analysis*). La FAO (*Food and Agriculture Organization*) vient en outre de publier des recommandations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles et alimentaires³.

Devant le grand nombre d'acteurs dans le domaine agro-alimentaire et leurs intérêts divergents en termes de durabilité, certains auteurs mettent en avant la nécessité de co-construire, avec l'ensemble des parties prenantes impliquées, critères et indicateurs d'évaluation. Ce choix d'approche participative répond à un souci de bonne gouvernance qui paraît aujourd'hui indissociable, voire constitue la condition même de la mise en œuvre du développement durable. L'idée centrale de la co-construction d'indicateurs est celle de l'appropriation : « il faut qu'ils (les indicateurs) aient du sens pour les acteurs, ce qui suppose que ceux-ci participent et discutent non seulement des indicateurs... mais aussi des objectifs qui vont orienter la mise en œuvre du développement durable » (Lazard *et al.*, 2008). Un tel travail de co-construction d'indicateurs a été réalisé en France par exemple pour l'aquaculture (projet EVAD) (Lazard *et al.*, 2008) et pour les filières biologiques avicoles (projet AVIBIO) (Pottiez *et al.*, 2012).

Ce travail de co-construction n'a pas été réalisé à ce jour en France pour les circuits courts, mais plusieurs travaux de recherche, déjà réalisés ou en cours, posent la question. Il va de soi qu'une telle analyse doit couvrir l'ensemble des stades de production, de transformation/conditionnement/emballage, et de distribution jusqu'au consommateur, tout particulièrement pour instruire le lien fort entre producteur et consommateur, caractéristique des circuits courts.

Un projet CASDAR, RCC – Références Circuits Courts (2011-2013), est en cours de réalisation, piloté par le centre de ressources agricole et rural Trame⁴ pour évaluer les performances selon les trois dimensions de la durabilité (économique, sociale, environnementale). Ce projet vise à évaluer, à l'échelle de l'exploitation, dans quelle mesure les projets d'installation ou de développement des circuits courts répondent aux attentes sociétales. Sans le lier explicitement au développement durable, Darrot et Durand (2010) ont élaboré un « référentiel central des circuits courts de proximité (CCP) » (Tableau 1). Il est organisé autour des trois dimensions reconnues de la durabilité, plus une quatrième dimension spécifique au produit (Darrot et Durand, 2010). Ce référentiel est la synthèse de propositions d'acteurs sur l'aspect « alternatif » des circuits courts, dans le cadre d'un programme de recherche européen⁵ mis en œuvre dans 5 pays.

Tableau 1 : Dimension normative du référentiel central des circuits courts de proximité

<i>Vision de la société</i> Garantir un accès équitable à la nourriture Accroître la solidarité entre citoyens Encourager la prise de décisions collaborative Supprimer les pressions corporatistes <i>Vision de l'économie</i> Ethique (équité, transparence...) Autonomie accrue à l'égard du système industriel Promouvoir un mode de vie global viable Augmenter la valeur ajoutée des produits Négocier le juste prix Réguler la concurrence	<i>Vision environnementale</i> Recherche d'un impact « macro » sur l'environnement (gaz à effet de serre, biodiversité...) Recherche d'un impact local sur l'environnement (qualité de l'eau, des sols,...) <i>Vision sociale du produit</i> Des produits frais, sains, « vivants » (sans additifs ni traitements) Soutenir les traditions locales, notion de territoire commun Promouvoir des services sociaux à travers les produits (santé publique, accès à la nourriture des plus démunis...)
---	---

Source : Darrot et Durand, 2010

³Guidelines for sustainability assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA)

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/SAFA/SAFA_Guidelines_draft_Jan_2012.pdf

⁴Projet <http://www.pardessuslahaie.net/trame/906>

⁵FAAN Facilitating Alternative Agri-Food Networks www.faanweb.eu

En Autriche, Schönhart *et al.*, (2009) ont proposé une analyse des circuits courts locaux par rapport à des attentes d'acteurs selon quatre dimensions de durabilité, la quatrième étant celle du bien-être individuel (Tableau 2).

Tableau2 : Attentes écologiques, économiques, sociales et de bien-être personnel vis-à-vis des circuits courts locaux

Dimension de durabilité	Attentes
Ecologique	Moins d'impacts environnementaux issus du transport, comme ceux des émissions de polluants dans l'air
	Moindre spécialisation et intensification dans l'agriculture par une occupation des surfaces agricoles locales plus diversifiée
	Préservation des paysages agricoles traditionnels
	Encouragement de modes de production plus respectueux de l'environnement (agriculture biologique, préservation de la biodiversité locale, réduction des intrants chimiques)
Economique	Augmentation de la création régionale de valeur ajoutée
	Réduction de prix de produits de saison
	Création d'emplois
	Augmentation du revenu chez les agriculteurs et les transformateurs
Sociale	Moindre dépendance locale à des forces extérieures des marchés et baisse du pouvoir des sociétés de transformation et de distribution
	Maintien de la production agricole et des petites entreprises de transformation dans la région
	Préservation des techniques traditionnelles de production et des modes de consommation (identité culturelle)
	Création de petites structures faciles à gérer
	Augmentation de la sécurité des approvisionnements alimentaires
	Montée de la prise de conscience des effets environnementaux et sociaux de la consommation (effet de <i>embeddedness</i> ⁶)
Bien-être personnel	Renforcement du pouvoir de groupes et des relations personnelles
	Source de nourriture pour une bonne santé et une bonne alimentation
	Source de nourriture plus fraîche et meilleure sur le plan gustatif et de spécialités
	Augmentation de la satisfaction professionnelle des producteurs (et des transformateurs)

Sources : compilation de Schönhart *et al.*, (2009)

Si alternatif n'est pourtant pas synonyme de durable, on note néanmoins une proximité entre les critères du référentiel central des CCP de Darrot et Durand (2010) et ceux de durabilité de Schönhart *et al.*, (2009). La répartition des critères entre catégories peut varier : ainsi les caractéristiques de fraîcheur et de santé du produit par exemple ont été classées dans « Bien-être personnel » par Schönhart *et al.*, (2009) et dans « Vision sociale du produit » par Darrot et Durand (2010).

Enfin, il faut retenir qu'à ce stade de travaux exploratoires, il n'y a, à ce jour, pas de référentiel universel reconnu sur l'évaluation de la durabilité des circuits courts. On peut s'attendre à des visions différentes en fonction des acteurs impliqués ou des cultures de pays concernés.

Premiers éléments de réponse dans les dimensions environnementale, économique et sociale

Dimension environnementale

Sans être explicitement affiché, le caractère écologique et respectueux de l'environnement est généralement sous-jacent dans les positions en faveur des circuits courts.

Du fait des distances de collecte et de distribution plus courtes, les impacts environnementaux des circuits courts, liés à la consommation d'énergie, aux émissions de gaz à effet de serre et à d'autres pollutions sont perçus comme inférieurs à ceux des circuits longs. De plus, la production agricole en circuits courts bénéficie d'une image positive l'associant à des pratiques agricoles plus écologiques (Maréchal et Spanu, 2010).

En fait, des travaux suggèrent que la réalité est plus complexe. Concernant par exemple les transports, en dehors de la distance parcourue, ce sont les modes de transports utilisés et l'organisation logistique qui jouent un rôle primordial. Comparés aux circuits longs, les circuits courts peuvent en effet être pénalisés par de faibles volumes transportés et par une logistique mal optimisée (retour vide, ...) (Schlich *et al.*, 2006). Une organisation de producteurs en réseaux peut permettre de mutualiser les trajets de livraison et d'augmenter ainsi l'efficacité énergétique de la logistique. Proches des bassins de consommation, les déplacements de producteurs vers les consommateurs pour la distribution (en zone urbaine ou périurbaine) sont, par exemple, susceptibles de générer moins d'impacts négatifs que la vente à la ferme du fait qu'ils évitent aux consommateurs de nombreux trajets individuels.

⁶ Signifie encastrement. Le concept d'encastrement est souvent utilisé dans la littérature en sciences sociales pour décrire un système alimentaire localisé et enraciné dans son territoire. Ici, il renvoie aux interactions entre la consommation et ses dimensions environnementale et sociale.

En dehors de la logistique de distribution, les impacts sur l'environnement de la production agricole destinée aux circuits courts sont aussi à considérer. Contrairement à l'idée que se font de nombreux consommateurs, les exploitations en circuits courts ne pratiquent pas toutes une agriculture biologique. A l'inverse, plus d'une exploitation bio sur deux pratique les circuits courts, contre une sur cinq en conventionnel (Agreste Primeur, 2012). Toutefois, les exploitations en circuits courts ont tendance à être plus extensives et de taille plus petite. Petit *et al.*, (2010) ont observé que commercialiser en circuits courts conduit l'exploitant à tenter de satisfaire l'attente globale des consommateurs : cela implique une diversification des productions de l'exploitation, en espèces et variétés dans le maraîchage, ainsi que des produits complémentaires comme les œufs, les produits issus de la volaille et du lapin. Cette diversification conduit à une charge accrue de travail et à une plus grande complexification de l'organisation du travail. De plus, en circuits courts, les consommateurs attentifs au respect de l'environnement, tolèrent plus facilement des défauts visuels ou des non-conformités aux standards habituels de commercialisation. Ce niveau de tolérance évite ainsi des pertes non négligeables de produits ce qui ouvre un nouveau champ d'adaptation possible pour les producteurs. Ceux-ci cherchent ainsi à simplifier leurs pratiques, comme par exemple certaines opérations manuelles dans la culture de tomates. Cela les entraîne aussi à chercher les moyens de réduire les traitements individuels des cultures, ce qu'ils arrivent à obtenir en jouant davantage sur les associations et les rotations de cultures. A ce titre, l'hypothèse d'une « écologisation » des pratiques agricoles en circuits courts est proposée (Petit *et al.*, 2010) comme moyen d'adaptation aux contraintes de production, sans nécessairement aboutir pour autant à l'agriculture biologique.

La biodiversité cultivée est aussi plus importante dans des systèmes en circuits courts, par exemple par les variétés de légumes dont les caractéristiques, telle que le manque de fermeté des tomates, se prêtent peu à une commercialisation en circuits longs (Bressoud, 2009), ou les variétés de blé à caractéristiques agronomiques, techniques et nutritionnelles non standard (variétés valorisées par les paysans-boulangers par exemple).

Dimension sociale

Les circuits courts permettent l'établissement de liens entre producteurs et consommateurs, liens qui animent et structurent les circuits courts. Ils permettent des échanges sur les attentes et les contraintes des uns et des autres. Dans certaines Amap par exemple, les consommateurs – ou « *consom'acteurs* » - vont jusqu'à contribuer à déterminer avec le producteur le prix de vente, à planifier les productions futures ou à s'exprimer sur les pratiques du producteur. La dimension pédagogique des circuits courts est aussi un élément important, sensibilisant sur les saisons et les exigences des différentes productions.

Les consommateurs peuvent développer des relations entre eux, plus ou moins intenses selon les cas, en Amap ou dans des collectifs producteurs-consommateurs par exemple. Acheter des produits en circuits courts signifie pour eux « d'être proche ». Mais cette proximité n'est pas celle d'une dimension spatiale entre producteur et consommateur. Prigent-Simonin *et al.*, (2012b), s'appuyant sur une enquête d'acheteurs sur les marchés et en point de vente collectif, parlent de *proximités* (au pluriel) d'accès (se rendre facilement sur le point de vente), identitaire (partager des valeurs), relationnelle (échanger avec le producteur) et de processus (connaître les manières de faire).

En terme de profil socio-démographique des clients, les circuits courts restent fréquentés par une population globalement plus diplômée et au revenu aisé, mais très peu par la catégorie des ouvriers (Prigent-Simonin *et al.*, 2012a). Certaines Amap ou collectifs, en cohérence avec leur projet sociétal qui inclut l'accès des personnes défavorisées à une nourriture de qualité, cherchent à favoriser une plus forte mixité sociale. En faisant jouer la solidarité entre adhérents, sont proposés des tarifs dégressifs d'adhésion et d'achat de panier calculés selon le niveau de revenu.

Côté producteur, les circuits courts permettent, selon des enquêtes d'intérêt pour les circuits courts, de retrouver une reconnaissance de leur métier et de la fierté qui sont pour eux des éléments importants. En dehors des liens personnels avec les consommateurs, les producteurs en circuits courts ont aussi tendance à coopérer entre eux, comme cela a été montré dans le cas d'un marché de producteurs en Languedoc-Roussillon (Chiffolleau, 2009).

Cependant, l'adaptation aux circuits courts ne va pas forcément sans difficulté. Les conséquences sur la charge de travail et sur la complexité de l'organisation du travail questionnent les activités des circuits courts sur le plan social. L'importance des modifications, du recours à la main d'œuvre supplémentaire par exemple, dépend de la part des circuits courts dans l'éventail des circuits de commercialisation.

Différentes enquêtes ont montré que ces producteurs ne vivent pas ces charges de travail de la même façon. Ainsi, Petit *et al.*, (2010) ont noté qu'en Ile-de-France, les exploitations de maraîchers pratiquant des circuits courts sont confrontées à des sérieuses difficultés pour faire face à la charge de travail, notamment de difficultés d'embauche de main d'œuvre au sein d'un bassin d'emploi proposant de meilleures conditions de travail. Ces situations conduisent les chefs d'exploitation à ne pas encourager réellement la succession au sein de leur propre famille, même dans le cas d'exploitations viables. Menée dans un contexte différent, l'enquête de Dufour *et al.*, (2010) auprès de producteurs maraîchers pratiquant la vente directe a révélé une tendance générale de satisfaction au travail, liée à la reconnaissance sociale du travail, à la liberté d'initiative, et aux nombreuses relations entre producteurs et consommateurs. Cette satisfaction parviendrait même, dans certains cas, à

compenser une insatisfaction économique due à la charge de travail et à la faiblesse du revenu dégagé. Il est clair que le rapport au travail détermine la place accordée aux circuits courts dans le projet global de l'exploitation, voire dans le projet de vie du ménage agricole.

Dimension économique

Parmi les trois dimensions de la durabilité des circuits courts, la performance économique est la moins analysée, tant du point de vue des producteurs que de celui des consommateurs.

Côté producteurs, profitabilité et viabilité des exploitations, maintien ou création d'emploi lors de la mise en place des circuits courts sont peu documentés. A l'échelle de l'exploitation, le choix de commercialisation en circuits courts est souvent motivé par des raisons économiques : diversification des sources de revenus (à côté de l'agrotourisme et les services), augmentation des marges et de la valeur ajoutée, moindre dépendance d'intermédiaires (transformateurs, distributeurs, restaurateurs), notamment pour la fixation des prix et donc meilleure stabilité des prix. Dans le cas des Amap, le paiement des paniers à l'avance permet au producteur de disposer d'une trésorerie pour anticiper des investissements, contrairement aux pratiques de paiement des grandes surfaces. Mais les références manquent encore sur les résultats économiques de transitions achevées. La diversité plus importante de tâches à réaliser dans des métiers bien distincts (transformation et conditionnement, marketing et vente, livraisons et transports etc.) ainsi que les productions intensives en main d'œuvre conduisent à l'hypothèse de circuits courts créateurs d'emploi. Quelques enquêtes confirment cette hypothèse à l'échelle de l'exploitation⁷ même si, bien souvent, au fur et à mesure que les circuits courts se développent sur l'exploitation, l'investissement dans la mécanisation est privilégié dans un premier temps par rapport au recours au salariat. Enfin, entre l'exploitation agricole et les consommateurs, on voit émerger des structures intermédiaires qui embauchent un voire plusieurs salariés. C'est le cas de certains magasins paysans, des points de vente collectifs ou de collectifs de producteurs-consommateurs (organisés souvent sous forme de SCIC)⁸. L'intérêt de telles structures est d'organiser et de financer conjointement les activités de commercialisation et de logistique entre plusieurs producteurs (professionnalisation, partage des coûts et des risques,...). Certains collectifs en circuits courts dépassent donc la définition stricte du zéro ou un intermédiaire, mais valorisent le fait de s'inscrire dans l'économie et les dynamiques territoriales. La structuration de filières locales pour approvisionner la restauration scolaire en est une illustration. Les créations d'emploi peuvent se réaliser à divers maillons (artisans, commerçants, restaurateurs, etc.).

Côté consommateur, malgré la proximité entre producteurs et consommateurs, la constitution du prix est rarement transparente. La répartition de la marge libérée par la suppression d'intermédiaires entre producteurs et consommateurs n'est pas visible. Il n'est même pas sûr que les consommateurs payent moins cher les produits en circuits courts qu'en circuits longs. Or, il faut noter que le fait de payer moins cher n'est pas toujours une motivation forte pour ceux qui, par ailleurs, déclarent que la fraîcheur et la qualité gustative des produits, la solidarité avec les paysans et le maintien de leur activité sont les motivations principales de leur adhésion aux circuits courts. L'objectif des consommateurs engagés est un prix rémunérateur, considéré comme « juste ». Il faut aussi mentionner qu'en circuits courts, si les dépendances aux intermédiaires sont moindres, des dépendances plus fortes émergent entre producteurs et consommateurs. De même, par ce que les sociologues appellent « réappropriation » de l'alimentation, et notamment dans le cas des formes de circuits courts les plus engageantes, il est crédible que le gaspillage de nourriture soit moindre. Il faut rappeler, comme l'ont révélé des enquêtes, que la valeur de ce qui est gaspillé en moyenne au foyer s'élève à environ 500 euros par an.

Situation spécifique des filières animales vis-à-vis d'une organisation en circuits courts

En dehors du miel, les produits d'origine animale sont beaucoup moins présents en circuits courts que les fruits et les légumes. Les régions spécialisées sont peu présentes quel que soit le produit considéré (structures collectives, coopératives et organisations de producteurs orientées vers les circuits longs), y compris dans le cas des filières animales. Ainsi, dans le cas du secteur volaille, les régions Aquitaine et Midi-Pyrénées qui concentrent respectivement 14 et 15% des exploitations, vendent trois à quatre fois moins en circuits courts que la région Provence qui compte quinze fois moins de producteurs (Agreste Primeur, 2012). En Limousin, seulement 4% des exploitations de bovins commercialisent de la viande produite en circuits courts (Agreste Limousin, 2012).

⁷En Rhône-Alpes, région où 32% des exploitations pratiquent au moins une forme de circuits courts, le volume de travail moyen par exploitation (2,1 Unités de Travail Annuel) pratiquant les circuits courts est supérieur à celui en circuits longs (1,2 UTA). Les résultats issus du Recensement Agricole 2010 pour la région Rhône-Alpes sont accessibles sur le site http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_R8212A03.pdf. En Ile-de-France, les exploitations mixtes combinant grandes cultures (blé, orge, maïs, betterave...) et productions spécialisées (maraîchage, etc.) pour une vente en circuits courts ont avec 4,4 employés à temps plein et 76 ha plus de main d'œuvre et des surfaces inférieures que les exploitations en circuits longs (1,2 employé et 136 ha).

⁸Exemples de *Alter Conso* à Lyon <http://www.alter-conso.org/> ou *De la Ferme au Quartier* à Saint Etienne <http://www.delafarmeauquartier.org/>

Une spécificité des produits d'origine animale est l'exigence sanitaire soit i) la vigilance particulière de l'autorité publique sur le plan de la sécurité sanitaire des produits et des circuits de commercialisation, et ii) l'existence de circuits sanitaires très contraignants et exclusifs depuis le début des années soixante. Les investissements en équipements frigorifiques sont lourds pour permettre la commercialisation en circuits courts en respectant les exigences réglementaires. Cependant, les filières de la volaille et du lait (et leurs produits dérivés) bénéficient d'allègements réglementaires ce qui facilite la mise en place de circuits courts (Cf. encadré). D'ailleurs, les œufs sont toujours restés un des produits le plus acheté en direct de la ferme.

L'abattage est le maillon obligatoire des filières de viandes de boucherie que l'éleveur même ne peut pas assurer. Vendre de la viande en circuits courts, la valoriser sous signe officiel de qualité et d'origine, exercer le métier de boucher-abatteur et bien d'autres activités à forte valeur ajoutée nécessitent l'accès facile à un abattoir de proximité (CGAAER, 2011). Les contraintes liées au transport des animaux et à la faiblesse logistique sont un frein majeur au développement des circuits courts en viande de boucherie. Ainsi, par la préservation d'un maillage minimum d'abattoirs de proximité sur le territoire français, les pouvoirs publics jouent un rôle-clé dans le soutien des dynamiques d'adaptation des filières à une demande sociétale émergente. Ce service public d'abattage a toute sa place à côté des abattoirs privés dont les logiques industrielles sont incompatibles, voire potentiellement pénalisantes pour les éleveurs en circuits courts (APCA, 2011). L'investissement public dans la structuration ou le maintien de filières locales de viandes de boucherie trouve aussi toute sa pertinence dans le cas de l'approvisionnement de la restauration collective.

Cependant, le nombre d'abattoirs de proximité en France est en baisse depuis de nombreuses années, jusqu'en 1995. Après une période de stabilité, leur nombre a de nouveau baissé à partir de 2007, notamment en raison du coût des (re) mises aux normes sanitaires pour l'accès aux certifications exigées par les distributeurs. Les faibles tonnages traités dans ces petites structures publiques⁹ dont les collectivités ont la charge peinent à rentabiliser et obèrent leurs capacités de modernisation.

Réglementation sanitaire spécifique aux produits d'origine animale

La réglementation en matière de sécurité des aliments, dit « **Paquet Hygiène** »¹⁰, distingue en terme d'exigences vis-à-vis des produits d'origine animale et des produits d'origine végétale, la production primaire (fruits et légumes non transformés, lait cru, œufs, produits de la pêche et de la chasse, miel) des produits transformés et autorise des dérogations pour les produits commercialisés en circuits courts. La vente directe de produits primaires en petites quantités au consommateur final ou aux commerces de détail locaux (situés à une distance inférieure ou égale à 80km) n'est pas soumise au « **Paquet Hygiène** » et relève donc d'une réglementation nationale¹¹.

En plus des règles d'hygiène 852/2004 [respect de la chaîne du froid, bonnes pratiques d'hygiène, procédures HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point = Analyse des dangers - points critiques pour leur maîtrise), formation du personnel, ...] applicables à tous les produits, des **exigences spécifiques** existent pour les **produits d'origine animale**, fixées par le **règlement 853/2004**. Ainsi, l'**agrément sanitaire** notamment doit être fourni à tous les établissements d'abattage préparant, transformant ou entreposant des produits d'origine animale ou des denrées contenant des produits d'origine animale (sauf filière volaille).

Quant à l'**abattage** :

- Les animaux de boucherie (bovins, porcins, ovins, caprins, chevaux et ânes) et le gibier d'élevage doivent être abattus dans un abattoir agréé CE.
- Les volailles et lagomorphes (lapin et lièvre) doivent être abattus dans des locaux spécialisés, soit donc les abattoirs agréés CE sans limite de quantité et de circuit de commercialisation, ou dans les tueries ou abattoirs non agréés sous certaines conditions (dont une quantité limitée, une distance maximale de 80km au consommateur final ou au commerce de détail local, et l'abattage effectué par le producteur lui-même¹²).
- Les palmipèdes gras peuvent être abattus dans un abattoir agréé CE ou, sous certaines conditions, dans une salle d'abattage à la ferme agréée CE.

Un aperçu de ces repères réglementaires pour la vente en circuits courts est publié par les Chambres d'Agriculture dans un dossier dédié aux circuits courts (APCA, 2010).

Néanmoins, il existe des initiatives pour le développement des circuits courts de viande comme par exemple le collectif A2VL (Abattre et Valoriser la Viande en Limousin), créé en 2007, composé de 80 éleveurs, de bouchers-abatteurs et de consommateurs. Ce collectif œuvre actuellement pour la réouverture de l'abattoir municipal d'Eymoutiers (Haute Vienne). Aux Pays-Bas et en Autriche, des modèles innovants comme les abattoirs mobiles et ambulants existent déjà. De très petits abattoirs d'animaux de boucherie existent en

⁹En 2010, 102 abattoirs sur 286 sont publics et traitent 8,8% des tonnages de viandes de boucherie, contre 75,4% des tonnages traités par les 70 abattoirs de groupes industriels. Le tonnage moyen des abattoirs publics en activité est de 2 916 t avec seulement 36 qui dépassent les 3 000 t et parmi eux 5 qui dépassent les 10 000 t. Le tonnage moyen des abattoirs privés est de 17 266 t en 2009 (CGAAER, 2011).

¹⁰ Règlement européen 178/2002, applicable depuis le 01/01/2005

¹¹ Arrêté du 18 décembre 2009

¹² Décret n°2008-1054 et arrêté du 10 octobre 2008

Allemagne. D'autres modèles sont également testés en France, comme les ateliers collectifs de transformation modulaires pour les petits animaux¹³.

Par ailleurs, le travail du Réseau Rural Français a permis d'analyser les enjeux et les freins à une organisation en circuits courts dans les filières de la viande¹⁴. Parmi ces freins, la spécialisation : les circuits courts bousculent les représentations traditionnelles des métiers de la viande. Les frontières entre éleveurs, bouchers et charcutiers s'effacent en même temps que ces métiers pratiqués dans des filières courtes exigent des compétences spécifiques. Ces compétences concernent la finition des animaux, la gestion des obligations administratives et sanitaires chez les éleveurs, les savoir-faire de découpe et de maturation des viandes, la valorisation de l'animal entier, la valorisation de races locales chez le boucher, la sélection et la préparation, l'adaptation à des races locales et à des pratiques de production différentes chez les restaurateurs.

Dans une perspective plus élargie des initiatives en circuits courts de la viande, on peut mentionner des associations dites « de pâturage » (*grazing associations*). Portées par des consommateurs-citoyens, elles coordonnent, avec un éleveur et la municipalité, le pâturage d'animaux sur des espaces publics à préserver. Ce système de services réciproques apporte, i) pour la municipalité, la préservation des paysages et de la biodiversité locale, ii) pour les consommateurs-citoyens, l'accès à une viande d'animaux qui pâturent et un lien à l'éleveur, iii) pour l'éleveur, un débouché certain et l'accès au pâturage pour ces animaux. Au total, 63 « *grazing associations* » sont recensées au Danemark (été 2012) (Bedoin et Kristensen, 2012).

Conclusions

Sujet encore peu abordé par la recherche française ou étrangère, la contribution des circuits courts à un développement durable des systèmes alimentaires est d'un intérêt grandissant. Leur positionnement comme un modèle de référence, alternatif au modèle de distribution dominant (nombreux intermédiaires, produits standardisés, industrialisés et mondialisés), les associe à de nombreux critères positifs de durabilité.

Il n'est pourtant pas évident de conclure que les circuits courts sont plus durables. Premièrement, leur diversité de formes d'organisation ne permet pas de généraliser les observations sur une forme à tous les circuits courts. Deuxièmement, on manque d'analyses et d'éléments de réponse, par exemple sur la viabilité économique des exploitations en circuits courts et sur les modalités de constitution du prix des denrées alimentaires, ou sur les impacts environnementaux dans les circuits courts comparés aux circuits longs.

Certains aspects des circuits courts peuvent être considérés comme peu avantageux en termes de durabilité. D'un point de vue environnemental, selon le contexte géographique et les conditions organisationnelles, certains circuits courts sont pénalisés par des faiblesses logistiques et des inefficacités énergétiques existant en aval de la production. Mais globalement, les circuits courts possèdent de nombreux atouts en termes de durabilité. Par l'effet conjugué de contraintes liées à la diversification des productions et à la charge de travail de l'aval (transformation, commercialisation), et d'opportunités d'être confrontés à des consommateurs moins exigeants pour des caractéristiques visuelles des produits (forme, calibre, couleur, taches), les producteurs en circuits courts pourraient disposer de plus de marges de manœuvre pour adopter des pratiques plus écologiques. L'hypothèse de l'écologisation des pratiques agricoles reste cependant à valider à plus grande échelle.

Le fait qu'il y ait, chez les producteurs en circuits courts, satisfaction sur les liens sociaux et les résultats économiques, malgré des difficultés à maîtriser les différentes compétences et l'organisation d'ensemble, est un point important pour la pérennité et donc la durabilité de ces exploitations.

En effet, si l'on comprend la durabilité des circuits courts comme leur capacité à pérenniser l'exploitation, l'analyse ne peut se limiter à l'économie. Si la viabilité économique d'une activité est une condition *sine qua non* à sa pérennité, elle ne la garantit pas pour autant. Mundler (2011), dans ses travaux menés sur des petites fermes, a montré en particulier dans le cas des circuits courts, qu'en plus de l'équilibre économique, les capitaux humain, économique et social, c'est-à-dire les savoir-faire comme l'accueil de clients, la vente et la transformation, l'organisation des multiples activités, et au final les projets professionnels et personnels que portent ces fermes, sont importants et très appréciés par les consommateurs.

Une évaluation des performances environnementales, économiques et sociales du projet agricole, dans le cas d'un projet d'installation ou de diversification par exemple, permettra aux agriculteurs, et aux structures qui les accompagnent, de situer l'adéquation du projet avec les attentes sociétales et d'identifier des points de progrès possibles. Une telle évaluation doit se faire non seulement à l'échelle de l'exploitation, mais en intégrant les intermédiaires s'il y en a et les consommateurs.

Concernant les filières animales spécifiquement, les contraintes sanitaires, l'investissement lourd en équipement frigorifique et, en particulier pour les viandes de boucherie, les contraintes liées au transport contribuent à rendre difficile le développement des circuits courts. Il faut donc des outils spécifiques voire collectifs, comme pour les abattoirs. Les initiatives innovantes, notamment autour de la viande, montrent l'existence d'un espace où les

¹³ http://www.france.cuma.fr/dossiers/ateliers-de-transformation-circuits-courts/projet-casdar-atomic-1?set_language=en

¹⁴ Le dossier thématique n°6 mai/juin 2012

http://www.reseaurural.fr/files/dossier_thematique_n_6_gtn_agriculture_alimentation_vpr_2.pdf

attentes de consommateurs et le savoir-faire des éleveurs et des artisans de la viande se rencontrent et peuvent se coordonner.

Reste à savoir comment la crise économique affectera à terme l'évolution des circuits courts. Il n'est pas exclu qu'en situation de crise, le soutien à l'économie locale et les relations personnelles, caractéristiques des circuits courts, soient en leur faveur. Les initiatives de collectifs de producteurs-consommateurs ont déjà commencé à expérimenter comment intégrer des réponses à des enjeux sociétaux, comme favoriser l'accès des démunis aux produits des circuits courts.

Agreste Primeur. 2012. n° 275. 4 pages.

Agreste Limousin. 2012. n° 75. 4 pages.

Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture. 2012. n°991.

Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture. 2011. Rapport, mai 2011. http://www.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/thematiques/Consommer_autrement/Circuits_courts/Etude_abattoirs_cc.pdf

Bedoin F., Kristensen T. 2012. IFSA symposium. http://www.ifsa2012.dk/downloads/WS4_1/Bedoin_Kristensen.pdf

Bressoud F. 2009. INRA-SAD, 29, 4 pages.

Chiffolleau Y. 2009. From Politics to Co-operation: The Dynamics of Embeddedness in Alternative Food Supply Chains. *Sociologia Ruralis*, 49, 3, 218-235.

CGAAER. 2011. Filière abattoir : Synthèse des études et données économiques et sanitaires disponibles fin 2010. Partie 1 : économie. Rapport. 45 pages.

Darrot C., Durand G. 2010. Traversac, J.B. (éditeur). Educagri, 195-209.

Deverre C., Lamine C. 2010. *Economie rurale*, 317, 57-73.

Dufour A., Hérault C., Lanciano E. 2010. Traversac J.B. (éditeur). Educagri, 71-85.

Lazard J., Rey-Valette H., Clément O., Aubin J., Mathé S., Chia E., Legendre M., Caruso D., Mikolasek O., Blancheton J.P., Slembrouck J., Baruthio A., René F., Levang P., Morissens P. 2008. Guide de co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture (EVAD). Cirad, 144pages.

Maréchal G., Spanu A. 2010. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 59, 33-45.

Morgan K., Marsden T., Murdoch J. 2006. *Place, Power and Provenance in the Food chain*. Oxford University Press, 7-25.

Mundler P. 2011. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 61, 59-68.

Petit C., Bressoud F., Aubry C. 2010. IFSA symposium, 1138-1147.

Pottiez E., Lescoat P., Bouvarel I. 2012. IFSA symposium. http://www.ifsa2012.dk/downloads/WS6_1/Pottiez.pdf

Prigent-Simonin A.H., Hérault-Fournier C., Merle A. 2012a. Prigent-Simonin A.H., Hérault-Fournier C. Educagri éditions / éditions Quae, 29-45.

Prigent-Simonin A.H., Hérault-Fournier C., Merle A. 2012b. Prigent-Simonin A.H., Hérault-Fournier C. (éditeurs). Educagri éditions/éditions Quae, 47-62.

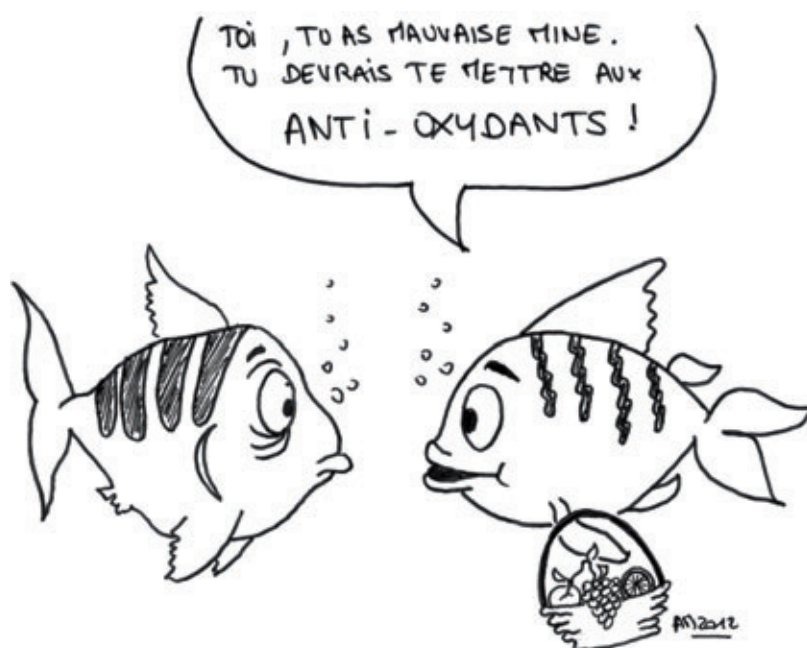
Schlich E., Biegler I., Hardtert B., Luz M., Schröder S., Schroeber J., Winnebeck S. 2006. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 53, 111-120.

Schönhart M., Penker M., Schmid, E. 2009. *Outlook on Agriculture*, 38, 2, 175-182.



Session

Qualité et Valeur Santé



OXYDATION DES LIPIDES ET DES PROTEINES DES VIANDES AU COURS DES PROCESSUS DE TRANSFORMATION : MECANISMES, CONSEQUENCES ET PREVENTION

DURAND D.¹, GOBERT M.² et GATELLIER P.²

¹UMR1213 Herbivores, ²UR370 QuaPA
INRA – Centre de Clermont-Ferrand/Theix
F-63122 Saint Genès-Champanelle

Abstract: Effect of meat processes on lipid and protein oxidation: mechanisms, consequences and prevention

In modern society meat is almost always transformed prior consumption. Meat processes are used to inactivate pathogenic microorganisms and to develop sensorial qualities. By generating free radicals and decreasing antioxidant protection, processes favour lipid and protein oxidation. It has been demonstrated that these oxidative modifications can decrease the bio-availability of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and essential amino acids and generate toxic compounds. In order to preserve the nutritional value of proteins, too high cooking temperatures and too long durations must be avoided while for PUFA, cooking duration is more deleterious than temperature. In case of marinated meats too low pH must be also avoided. Among preventive strategies against oxidation processes, antioxidant supplementations during meat processing or in animal diet during the finishing period have been recently investigated.

Introduction

Dans nos sociétés modernes, la viande est presque toujours transformée avant consommation. Les procédés technologiques de transformation comme la cuisson, la salaison ou le marinage améliorent la qualité microbiologique des produits en réduisant les flores pathogènes. Ils confèrent aussi aux produits carnés des qualités organoleptiques (odeur, flaveur et couleur) caractéristiques qui sont recherchées par le consommateur. Cependant, en parallèle à ces effets favorables, la transformation peut aussi générer une oxydation importante des lipides et des protéines de la viande avec des effets négatifs sur les qualités sensorielles (Garcia-Segovia *et al.*, 2007) et nutritionnelles (Gandemer, 1999 ; Durand *et al.*, 2005 ; Gatellier et Santé-Lhoutellier, 2009) des produits. Ainsi, il a été montré que l'oxydation des lipides, en particulier des acides gras polyinsaturés (AGPI), et des acides aminés vont conduire à une perte plus ou moins importante de leurs biodisponibilités, mais également à l'apparition de produits de dégradation impliqués dans diverses pathologies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires ou neuro-dégénératives. Au cours d'une première synthèse (Durand *et al.*, 2010), nous avons décrit les principaux facteurs d'élevage pouvant favoriser ces processus d'oxydation, comme les niveaux de stress au moment de l'abattage ou encore les conduites alimentaires visant à enrichir les viandes en AGPI par l'apport de graines riches en lipides insaturés dans les rations des animaux. Nous avons également comparé l'impact des différents types de conditionnements actuellement utilisés en Grande et Moyenne Surface (GMS) et montré que les conditionnements riches en oxygène étaient les plus délétères.

Dans cette revue nous nous attacherons plus spécifiquement à préciser l'impact des principaux procédés technologiques de transformation sur l'oxydation des lipides et des protéines ainsi que les moyens de prévention de celles-ci.

PARTIE 1 : PROCESSUS D'OXYDATION : MECANISMES BIOCHIMIQUES ET CONSEQUENCES

1 - La lipoperoxydation

1.1 – Mécanismes biochimiques

Classiquement, on identifie 3 types d'acteurs intervenant dans les processus de lipoperoxydation, les espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui sont les initiateurs, les AGPI eux-mêmes et les antioxydants qui moduleront ces processus. Les ERO sont une famille d'entités chimiques regroupant les dérivés non radicalaires (ne possédant pas d'électron célibataire) dont la toxicité est importante [anion peroxyde (O_2^{2-}), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), peroxynitrite ($ONOO^-$)] et les radicaux libres oxygénés (espèces chimiques possédant un électron célibataire non apparié) [anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), radical hydroxyle ($HO^{\cdot}$), monoxyde d'azote ($NO^{\cdot}$), les peroxydes ($ROO^{\cdot}$), les alkoxydes ($RO^{\cdot}$) ...]. Les ERO sont des molécules très instables donc très réactives

cherchant à se rééquilibrer par capture d'un proton ou d'un électron et donc capables d'initier la peroxydation des lipides. Les AGPI sont les cibles privilégiées des ERO en raison de leurs hydrogènes bis-allyliques facilement oxydables. La peroxydation des AGPI concerne aussi bien les AG non estérifiés qu'estérifiés (triacylglycérols, phospholipides et esters de cholestérol) et ce d'autant plus que leur degré d'insaturation est élevée. Il a été proposé un index de peroxydabilité (IP) par Hu *et al.* (1989) qui permettait de déterminer la susceptibilité d'une matrice à se peroxyder en fonction de sa composition en AG.

Cet index est calculé de la façon suivante :

$$(IP) = (\% \text{ diénoïque}) + (\% \text{ triénoïque} \times 2) + (\% \text{ tétraénoïque} \times 3) + (\% \text{ pentaénoïque} \times 4) + (\% \text{ hexaénoïque} \times 5)$$

1.2 – Conséquences sur les qualités sensorielles et nutritionnelles des viandes

L'oxydation des lipides entraîne une détérioration des qualités nutritionnelles (perte en AGPI et en vitamines) et organoleptiques (odeurs désagréables, rancissement, altération de la couleur) des aliments. Par ailleurs, les métabolites générés par la lipoperoxydation sont potentiellement toxiques pour le consommateur tels que les aldéhydes et indirectement les produits d'oxydation des cholestérols (hydroxycholestérol, époxydes, kétocholestérol) dont la consommation a aussi été associée à l'initiation de l'athérosclérose sur des modèles animaux (Draper *et al.*, 1986). Des recherches conduites au cours de ces dernières années ont pu montrer que la consommation excessive de viande rouge augmentait significativement le risque de développement du cancer colorectal (Nora *et al.*, 2002). Cet effet délétère a été associé à la présence de fer héminique en tant que promoteur des processus de peroxydation (Pierre *et al.*, 2006). Il a été montré que le 4 hydroxy-2-nonenal (HNE), métabolite majeur de la peroxydation des AGPI n-6, était un composé cytotoxique et génotoxique pouvant en partie expliquer les effets de promotion de la cancérogénèse au niveau colorectal par la viande rouge.

2 – Oxydation des protéines

L'oxydation des protéines de la viande, lors de la transformation, conduit à une perte de biodisponibilité des acides aminés, soit par dénaturation chimique de ces composés, soit par diminution de la digestibilité des protéines (Gatellier et Santé-Lhoutellier, 2009). Ce phénomène, lorsqu'il touche les acides aminés essentiels, va impacter de manière négative la valeur nutritionnelle des viandes. La diminution de la vitesse de digestibilité des protéines, liée à leur oxydation et à leur agrégation, peut aussi avoir des conséquences négatives en termes de santé humaine. Il a été en effet démontré, dans plusieurs études, que l'accumulation et la fermentation dans le gros côlon de protéines non digérées dans l'intestin grêle pouvaient conduire à la formation de produits de type phénols potentiellement mutagènes (Evenepoel *et al.*, 1998).

2.1 – Mécanismes biochimiques de l'oxydation des protéines et produits d'oxydation formés

Oxydation des acides aminés basiques : Les acides aminés basiques (lysine, histidine, arginine) qui présentent des fonctions amines (NH ou NH_2) sur leurs chaînes latérales sont particulièrement sensibles aux attaques radicalaires. En présence de métaux, ils subissent une désamination oxydative conduisant à la formation d'un groupement carbonyle (Stadtman, 1990). Ces acides aminés basiques étant des acides aminés essentiels, la formation des groupements carbonyles entraîne une perte importante de la qualité nutritionnelle des viandes. D'autre part ces groupements carbonyles peuvent réagir avec des fonctions amines non oxydées de la lysine pour former des liaisons imines ($-HC=N-$). Ces liaisons imines, lorsqu'elles se forment entre des chaînes peptidiques différentes, peuvent conduire à l'agrégation des protéines.

Oxydation des acides aminés aromatiques : Les acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine et tryptophane) sont aussi très sensibles à l'oxydation, en subissant des réactions d'hydroxylation sur leurs noyaux aromatiques. La phénylalanine et la tyrosine peuvent être oxydées en L-dihydroxyphénylalanine (L-DOPA) ou L-trihydroxyphénylalanine (L-TOPA), ces deux produits d'oxydation étant potentiellement des composés mutagènes (Husain et Hadi, 1995). L'oxydation de deux tyrosines voisines peut conduire aussi à la formation de dityrosine (Morzel *et al.*, 2006). La dityrosine, quand elle se forme à partir de deux chaînes peptidiques différentes, est un facteur important d'agrégation des protéines. Le tryptophane est oxydé en hydroxytryptophane. Les métabolites de l'hydroxytryptophane (hydroxyindole et hydroxykinurénine), formés en milieu très oxydant, présentent une activité mutagénique élevée (Hashizume *et al.*, 1991). Enfin, la perte de ces acides aminés essentiels par oxydation conduit aussi à une dégradation de la valeur nutritionnelle des viandes.

Oxydation de la cystéine : L'oxydation de la cystéine conduit à la formation de ponts disulfures qui participent aussi à l'agrégation des protéines (Morzel *et al.*, 2006).

2.2- Conséquences de l'oxydation des protéines ; agrégation et perte de reconnaissance par les protéases

L'agrégation des protéines, générée par ces oxydations mais aussi par la dénaturation thermique, peut être étudiée par granulométrie. Dans cette technique les agrégats sont caractérisés par leur nombre, leur taille et leur forme (figure 1). Par cette technique, nous avons montré que le chauffage se traduisait par une diminution importante du nombre de particules, essentiellement des particules myofibrillaires (Promeyrat *et al.*, 2010 a et b). Ce phénomène peut s'expliquer par un empilement compact des particules réduisant ainsi leur nombre. Une diminution de la taille des particules et une augmentation de leur circularité (la circularité varie de 0,3 pour une fibre allongée à 1 pour une sphère parfaite) ont aussi été observées correspondant à un compactage et à un enroulement important des particules sur elles-mêmes.

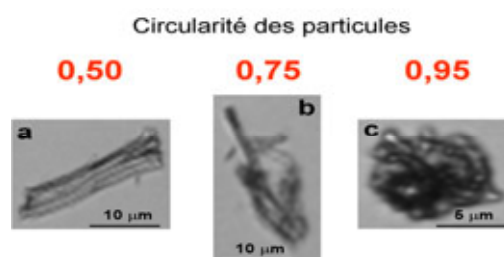


Figure 1 : Exemples de particules détectées par la caméra du granulomètre (FPIA-3000) dans des extraits de viandes de porc crue (a) et cuites à 100°C (b: 10 minutes et c: 30 minutes). (Tiré de Promeyrat *et al.*, 2010b).

Il a été observé, *in vitro*, que l'oxydation et l'agrégation des protéines rendaient celles-ci plus difficilement reconnaissables par les enzymes protéolytiques, entraînant ainsi une diminution de leur digestibilité avec des conséquences négatives sur la valeur nutritionnelle des aliments (Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008). Ces effets des traitements thermiques sur la digestibilité des protéines de la viande restent à confirmer *in vivo*.

PARTIE 2 : EFFET DES TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES SUR L'INTENSITE DES PROCESSUS D'OXYDATION

2.1 – Traitements technologiques et lipoperoxydation.

Différents travaux ont été conduits au cours de ces 15 dernières années, en partenariat entre l'INRA, l'ADIV et l'interprofession bovine (Interbev) visant à évaluer l'impact de la conservation et/ou de la cuisson sur l'orientation des processus de lipoperoxydation. Ainsi, nous avons montré que les maturations sous vide de 14 jours (par rapport à une maturation courte de 3j) prédisposent plus les viandes aux processus de peroxydations survenant lors de la cuisson. Il apparaissait également que l'intensité des processus de peroxydation au cours de la cuisson étaient principalement déterminée par la durée de la cuisson et non par sa température (tableau 1) (Durand *et al.*, 2006). Les quantités très importantes de MDA (près de 4 µg/g de tissu), produites lors d'une cuisson longue pouvaient atteindre des valeurs proches des limites d'acceptabilité déterminées par tests organoleptiques et rapportées par Campo *et al.* (2006).

Entrecôte	Mode de cuisson		SEM	effets des traitements		
	Grillé	Poêlé		cuisson	maturation	interaction
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation	- 179	+ 795	196	0.106	0.450	0.09
14 jours de maturation	- 203	+ 34				
Rumsteck	Frit	Rôti				
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation	- 1371	+ 558	407	0.001	0.090	0.098
14 jours de maturation	+ 20	+ 2549**				
Paleron	Braisé					
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation		+ 960	319		0.0001	
14 jours de maturation		+ 3624**				

Tableau 1 : Influence du type de cuisson (mesurée par la différence "cuit" - "cru") et de la durée de maturation sous vide sur les teneurs en malondialdéhyde (MDA)($\mu\text{g/kg}$ de sec) mesurées avant et après cuisson de différents types de viande * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ (d'après Durand *et al.*, 2006).

Une autre étude conduite en partenariat avec l'ADIV et la Société Bigard (projet Actia RA 03.22, D Durand et E. Thomas, 2006), a montré que lors de la fabrication des steaks hachés, chaque étape du processus de fabrication entraînait une augmentation des niveaux de peroxydation. Ainsi, le diamètre de la grille (de 3.2 à 4 mm), l'utilisation de minerai congelé (0 à 30 %) et le formage augmentaient l'intensité de la peroxydation des lipides de 19, 25 et 30% respectivement (données non publiées). Les protéines ainsi que les réserves en antioxydants de type liposoluble comme la vitamine E étaient, d'une façon générale, très peu affectées par les différentes étapes de fabrication des steaks hachés. Leur état et teneur étaient principalement liés à la qualité nutritionnelle des matières premières entrant en jeu dans la fabrication. C'est pourquoi, il est important de maîtriser la qualité des minerais. Dans le cas d'une fabrication de steaks surgelés, notamment, il s'agira de réduire au maximum le temps de stockage du minerai congelé surtout lorsque celui-ci a une forte teneur en matière grasse.

2.2 – Traitements technologiques et oxydation des acides aminés

Oxydation des acides aminés basiques

La figure 1 montre la production des groupements carbonyles lors d'une cuisson expérimentale de la viande bovine (Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008). Nous avons observé une production de carbonyles dépendante des conditions de cuisson. La cuisson à 100°C entraînait une augmentation progressive du taux de carbonyles avec une multiplication par 3 de ce taux après 45 minutes de cuisson. Dans le cas d'une cuisson plus sévère (270°C) le même taux de carbonyles était obtenu mais en seulement 1 minute. Une détection immunohistochimique a permis de montrer la localisation préférentiellement périphérique des carbonyles dans la cellule musculaire après cuisson (encart de la figure 2), correspondant à une initiation membranaire de l'oxydation. L'oxydation des lipides membranaires va générer des radicaux libres de type peroxydes ou alcoxydes (ch. 1.1) capables d'oxyder à leur tour les protéines.

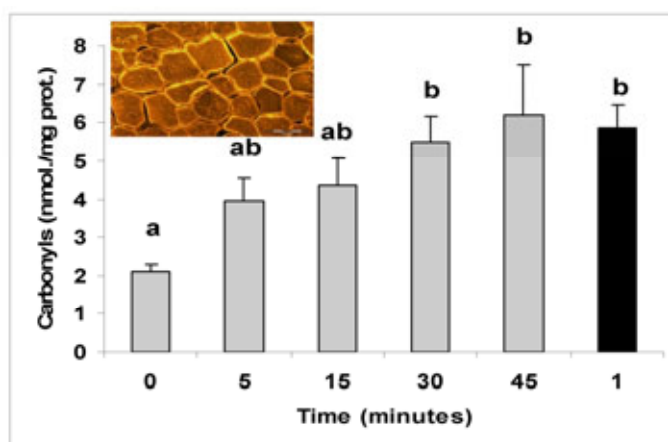


Figure 2 : Effet de la cuisson de la viande bovine (*M. Rectus-abdominis*) sur l'oxydation des protéines myofibrillaires évaluée par le taux de carbonyles ; 100°C (en gris) et 270°C (en noir). (tiré de Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008).

En encart : détection immunohistochimique des carbonyles après cuisson à 270°C . (tiré de Astruc *et al.*, 2007).

Dans le cas du marinage de la viande bovine nous avons observé une augmentation de 100 % du taux de carbonyles à bas pH (4,4) alors qu'à pH plus élevé (5,5 et 6,5) aucune oxydation n'était observée (Sharedeh *et al.*, 2010). Cette même étude a montré que l'augmentation de la force ionique (jusqu'à 27 g de sel par litre de saumure) n'avait aucun impact sur le taux de carbonyles.

Oxydation des acides aminés aromatiques

Nous avons étudié la stabilité à la cuisson de ces trois acides aminés dans le muscle LT de bœuf. Comme le rapporte la figure 3, nous avons montré qu'il apparaissait une dégradation importante de la tyrosine avec le temps de cuisson et ceci même aux plus basses températures. Dans le cas du chauffage à 140°C , une diminution

de plus de 90% du taux de tyrosine a été mesurée. En revanche, la phénylalanine et le tryptophane se sont montrés plus stables à la cuisson et leur dégradation n'a pu être observée qu'à partir de 140°C (résultats non fournis). Ces résultats confirment l'impact des cuissons à haute température sur l'oxydation des protéines et sur la biodisponibilité des acides aminés essentiels.

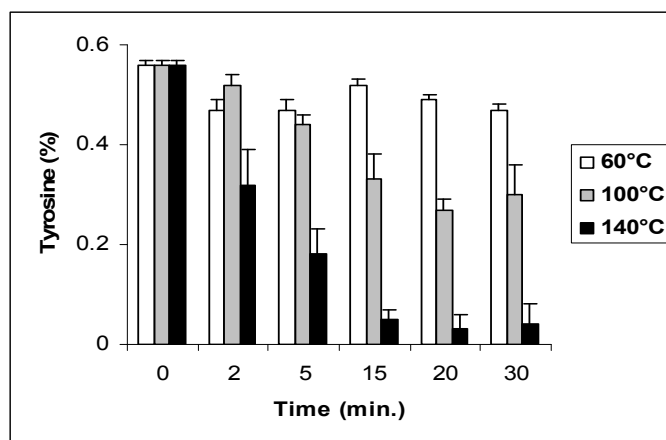


Figure 3 : Effet de la cuisson de la viande bovine (*M. Longissimus-thoraci*) sur l'oxydation de la tyrosine (tiré de Gatellier *et al.*, 2009)

Oxydation de la cystéine

Dans le cas de la cuisson du jambon avec 2% de sel (NaCl) nous avons observé une oxydation des thiols qui restait très modérée, de l'ordre de 23 % en 2 heures (résultats non fournis). En présence de 4 % de sel la teneur en thiols libres était particulièrement stable. Cet effet protecteur du sel, observé à 4%, pouvait s'expliquer par le fait qu'à très forte concentration le sel diminue la solubilité de l'oxygène dans les milieux biologiques. Cependant, du fait de l'implication du sel dans les maladies cardiovasculaires, son augmentation dans les produits carnés n'est pas souhaitable.

PARTIE 3 : COMMENT PREVENIR OU LIMITER LES PROCESSUS D'OXYDATION ?

3.1 – Prévention de la lipoperoxydation

- Cas des produits non transformés (muscle)

Pour limiter la peroxydation des lipides et des protéines et optimiser les qualités des produits animaux, il est possible de supplémenter l'alimentation des animaux en antioxydants naturels ou de synthèse.

Les ruminants en finition sont nourris au pâturage et finis à l'auge avec des aliments concentrés riches en énergie et en protéines dans le but de les engraisser rapidement afin de répondre aux demandes du marché de la viande. Les ruminants nourris à l'herbe présentent des muscles mieux protégés vis-à-vis de la lipoperoxydation probablement grâce à la teneur élevée de l'herbe en vitamine E (vit E). C'est l'une des raisons pour laquelle, la vit E s'est imposée comme l'antioxydant principal à utiliser dans les rations à base d'aliments concentrés destinées aux animaux en phase de finition. Cependant, comparée à l'aliment concentré supplémenté en vit E (500 UI/animal/jour), l'étude du statut antioxydant de viandes (à l'abattage) issues de bovins montre que l'herbe contribue plus efficacement au dépôt d'antioxydants naturels et en quantité suffisante pour prévenir la peroxydation des lipides (Descalzo *et al.*, 2005). Ainsi, il paraît bénéfique d'enrichir les rations des animaux par de la vit E, mais aussi à l'aide d'autres sources d'antioxydants naturels pour protéger les viandes. L'association de différentes sources d'antioxydants (lipophile et/ou hydrophile) a été testée pour, d'une part, limiter les apports d'un seul type d'antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs à des doses supra nutritionnelles, et, d'autre part, d'améliorer la stabilité oxydative des tissus. Ainsi, chez le poulet l'apport conjoint de vit E lipophile (200 ppm) et de vitamine C hydrophile (1000 ppm) ou d'origan (3%) diminue l'intensité des détériorations oxydatives dues à un stress (transport, étourdissement électrique) (Young *et al.*, 2003). Chez la dinde, l'association de vit E (100 mg/kg) et d'huile d'origan (100 mg d'huile/kg) s'avère plus efficace dans la protection de la viande vis-à-vis de

la lipoperoxydation que l'un ou l'autre de ces antioxydants apportés seul (Papageorgiou *et al.*, 2003). Divers antioxydants de type tocophérols, caroténoïdes et polyphénols ont été retrouvés dans les viandes à l'abattage d'animaux nourris à l'herbe (Descalzo *et al.*, 2008). Les antioxydants provenant d'extraits végétaux pourraient aussi moduler les systèmes enzymatiques endogènes en améliorant l'activité d'enzymes antioxydantes tissulaires (catalase, superoxyde dismutase, glutathion peroxydase). Ainsi, chez un animal modèle, le rat, Gladine *et al.* (2007) ont pu montrer que l'apport alimentaire d'extraits végétaux riches en polyphénols augmentait l'activité de la catalase dans le foie.

Les antioxydants administrés par voie alimentaire semblent être à l'origine d'effets protecteurs efficaces et complexes dans les tissus vis-à-vis de la peroxydation des lipides. Cependant, les muscles de bovins ne sont pas consommés juste après l'abattage, mais à la suite de nombreuses transformations.

- Cas des produits transformés

Deux approches sont possibles pour réduire la peroxydation des lipides dans les produits transformés. D'une part, elle consiste à prévenir ou ralentir les réactions en chaîne, ce qui conduit à la réduction des effets des facteurs pro-oxydants (température élevée, lumière, etc.) générés par les transformations technologiques des viandes (découpe, conditionnement, etc.) (Rao & Sachindra, 2002). D'autre part, elle vise à éliminer les produits peroxydés déposés dans la viande à la fin du processus (Grün *et al.*, 2006).

Une majorité des travaux ont porté sur **l'ajout d'antioxydants directement sur les produits finis**. Si des antioxydants phénoliques de synthèse, comme le butylhydroxyanisole (BHA) ou le butylhydroxytoluène (BHT), ont déjà été utilisés pour leur capacité à inhiber la lipoperoxydation, leur utilisation d'un point de vue nutritionnel est contestable, leur innocuité n'étant pas établie (Renner, 2002). Aussi, les sources naturelles d'antioxydants sont de plus en plus étudiées, parmi lesquelles le romarin et divers extraits du romarin sont très représentés, mais d'autres sources naturelles ont été testées par ajout direct sur les viandes. Elles incluent l'aloë vera, le ginseng, la moutarde, la sauge, le radis noir, l'origan, la marjolaine, le basilic, le thym, le gingembre, le cumin, la cannelle, le miel, les catéchines du thé, la vitamine C, l'orange, le citron, le poivre gris, le thé vert, le café, la peau de raisins, le pépin de raisins, l'extrait d'écorce de pin et l'huile essentielle de sauge (Grün *et al.*, 2006 ; Fasseas *et al.*, 2008). Des extraits aqueux de myrtille, de romarin, d'ortie et de citronnelle ajoutés à des steaks hachés ralentissent l'oxydation des lipides et améliorent la stabilité de la couleur au cours de 120 jours de stockage à -20°C (Akarpal *et al.*, 2008). De même, un mélange 1:1 d'acide citrique et de vitamine C ainsi qu'un extrait de romarin se sont révélés efficaces pour limiter la peroxydation des lipides et pour protéger la couleur de viandes conditionnées sous atmosphère riche en O₂ (Lund *et al.*, 2007), montrant bien l'intérêt de l'emploi de différentes sources antioxydantes par rapport à une source unique.

Une étude, conduite en partenariat entre l'ADIV, l'INRA, l'Ofival et Interbev (2005) a bien montré l'intérêt technologique et nutritionnelle des apports d'antioxydants végétaux au cours du processus de préparation de la viande hachée de bœuf. Différents types d'extraits végétaux ont été testés (liposolubles ou hydrosolubles, en poudre ou liquide) et étaient ajoutés entre l'étape de hachage et celle de formage. Les différents extraits testés pouvaient limiter les processus de lipoperoxydation de près de 60 à 70 % après 9 jours de conservation sous atmosphère modifiée, cet effet étant conservé même après cuisson (Thomas *et al.*, 2005).

Comme cité précédemment, d'autres stratégies consistent à **enrichir les rations des animaux avec des antioxydants** d'origine naturelle pour améliorer le statut antioxydant de leurs muscles et ainsi fournir une protection vis-à-vis de la lipoperoxydation au cours des différents processus de transformation afin de garantir les qualités des produits. C'est le cas lors de l'emploi de la vit E qui se révèle plus efficace, en étant introduite directement dans l'alimentation des animaux que par ajout direct sur le produit (Descalzo & Sancho, 2008). Dans le cas des viandes bovines enrichies en AGPI, les effets pro-oxydants importants dus à l'apport d'AGPI combiné aux processus de transformation des viandes ont suscité l'intérêt, depuis quelques années, pour de nouvelles sources d'antioxydants alimentaires. Chez des vaches en finition supplémentées en AGPI n-3, nous avons testé l'efficacité d'un cocktail d'extraits végétaux riches en polyphénols (EVRP) associés à de la vit E pour protéger de la lipoperoxydation les viandes conditionnées. Une supplémentation en vit E (2.8 g/vache/jour) ou en vit E associée aux EVRP (126 g/vache/jour) dans des régimes enrichis en graines de lin riches en AGPI n-3 (40 g d'huile/kg MS) a été apporté par voie orale à des vaches de réforme de race Normande (n=15) pendant 101 jours de finition. Les viandes issues de ces animaux ont été conditionnées selon différentes modalités. Les conditionnements contenant de l'oxygène (O₂) (sous-air et sous atmosphère modifiée) augmentent significativement l'intensité de la lipoperoxydation (de 6 et 14 respectivement) (P<0.05) par rapport aux viandes conservées sous-vide. Seul, l'apport combiné de vit E associée aux EVRP a permis de protéger efficacement les AGPI n-3 des viandes enrichies vis-à-vis de la lipoperoxydation, même dans les viandes ayant subi les

conditionnements les plus défavorables (tels que sous atmosphère modifiée), où les valeurs restent systématiquement inférieures à 0,8 µg de MDA/g tissu, c'est-à-dire inférieures au seuil d'acceptabilité du goût de rance (Gobert *et al.*, 2010) (Figure 3). Le même cocktail antioxydant s'est avéré efficace pour préserver de la lipoperoxydation des viandes congelées durant 9 mois (Gobert *et al.*, 2011).

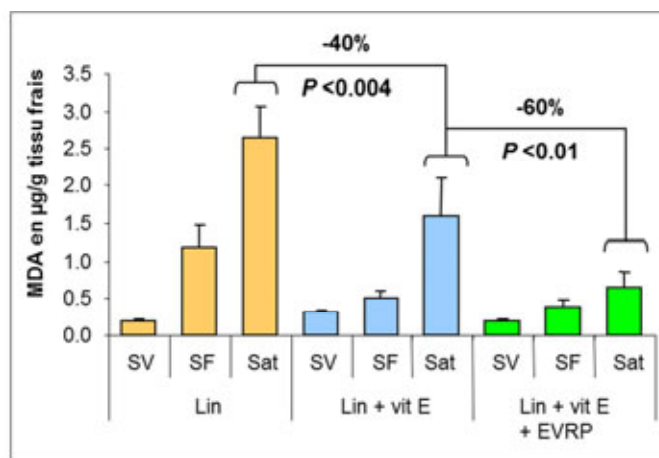


Figure 3 : Effet des antioxydants alimentaires vitamine E et extraits végétaux riches en polyphénols (EVRP) sur l'intensité de la lipoperoxydation du muscle *Semi-tendinosus* mûri 12 jours en carcasse puis conservé 14 jours sous-vide (SV) ou 4 jours sous-film (SF) ou 7 jours sous-atmosphère riche en oxygène (70/30 ; O₂/CO₂) (Sat) à 4°C (Gobert *et al.*, 2010).

Chez les « gros mangeurs » de viandes rouges et de charcuterie, la lipoperoxydation (impliquant la viande rouge) et l'oxydation des protéines (impliquant les charcuteries) sont suspectés tenir un rôle important dans la promotion du cancer colorectal. Une étude est actuellement en cours visant à rechercher des stratégies de prévention de cet effet promoteur de la viande rouge en limitant le stress oxydant au niveau colorectal par l'apport d'antioxydants associés à la viande (ANR Sécuriviande, Pierre *et al.*, 2012). Dans cette étude, plusieurs stratégies antioxydantes sont testées, comme l'ajout de vit E seule ou associée à des molécules naturelles, ou encore la réduction des conditions pro-oxydantes par la diminution des temps de cuisson des viandes.

3.2 – Prévention de l'oxydation des protéines

Même si, dans la transformation des viandes, l'effet bénéfique d'une protection antioxydante sur l'oxydation des protéines n'a pas pu encore être mis en évidence, l'initiation membranaire de l'oxydation protéique plaide en faveur d'une protection par des antioxydants lipophiles comme la vitamine E. Dans le cadre du projet européen DREAM (7^{ème} PCRD) il a été montré, en système modèle artificiel, que la vitamine E pouvait ralentir l'oxydation des protéines lors d'un traitement thermique et ceci jusqu'à 75°C. Ce résultat en système modèle reste à confirmer dans la viande où les apports en vitamine E pourraient se faire par une supplémentation alimentaire des animaux. Les résultats présentés ici montrent que pour limiter l'oxydation des protéines de la viande il faut éviter les cuissons à des températures trop élevées (comme dans le cas des fritures et grillades). Dans le cas du marinage de la viande, afin de limiter l'oxydation des protéines, l'utilisation des marinades trop acides devra être évitée. Dans les charcuteries la présence de nitrite et d'ascorbate, nécessaires à la fabrication des produits, limite considérablement les niveaux d'oxydation protéiques.

Conclusions

Au vu de ces différentes études, il apparaît donc essentiel de maîtriser correctement les processus d'oxydation, tant pour les lipides que pour les protéines. En effet, au sein des matrices carnées, l'oxydation va conduire à la disparition ou à la diminution de la biodisponibilité de nutriments d'intérêt comme les AGPI, les vitamines et les acides aminés essentiels et dans le même temps à l'apparition de composés indésirables. Par ailleurs, les processus d'oxydation vont également altérer les caractéristiques sensorielles de la viande. L'intensité de cette oxydation est largement modulée par les différentes étapes de transformation des viandes (conditionnement, conservation, de cuisson, marinade...). Cependant, au cours des dernières années, différentes études ont été mises en place en vue de limiter l'intensité de ces oxydations. Ainsi, l'apport d'antioxydants administrés directement dans la ration des animaux producteurs de viande au cours de la période de finition est très prometteur puisqu'il protège efficacement les qualités nutritionnelles des produits lors de leur conservation. Il

reste cependant à évaluer plus largement l'effet de ces antioxydants alimentaires sur la protection des AG et des acides aminés au cours de traitements technologiques plus drastiques tels que la cuisson. De même, dans le cadre du projet européen DREAM, une étude est menée afin de mieux comprendre les effets des paramètres thermiques sur l'oxydation des protéines. Le but à terme de ce projet est de fournir aux industriels et aux consommateurs des barèmes de cuisson (couple temps/température) qui permettent de limiter les oxydations et de préserver au mieux la qualité nutritionnelle des produits carnés. Ainsi, tous ces travaux devraient permettre dans un proche avenir, de mieux identifier les facteurs les plus « impactants » sur l'orientation des processus d'oxydation des lipides et des protéines dans les matrices carnées et de proposer des stratégies soient technologiques (maîtrise des conditions de conservation, cuisson...) soient d'élevage (équilibre des rations en antioxydants...) à la filière voire jusqu'au consommateur lors de la préparation « ménagère » des repas.

Références :

- Akarpat A., Turhan S., & Ustun N. S., 2008. *J. Food Process. Preservation*, 32, 117-132.
- Astruc T., Marinova P., Labas R., Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2007. *J. Agr. Food Chem.*, 55, 9554-9558.
- Campo M.M.; Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I. 2006. *Meat Science*, 72(2), 303-311.
- Descalzo A. M., Insani E. M., Biolatto A., Sancho A. M., Garcia P. T., Pensel N. A., & Josifovich J. A., 2005. *Meat Sci.*, 70(1), 35-44.
- Descalzo A. M., Rossetti L., Sancho A. M., Garcia P. T., Biolatto A., Carduza F., & Grigioni G. M., 2008. *Meat Science*, 79(3), 582-588.
- Descalzo, A. M. & Sancho, A. M., 2008. *Meat Sci.*, 79(3), 423-436.
- Draper H.H., McGirr L.G., Hadley M., 1986, *Lipids*. 21(4),305-7.
- Durand D., Scislowski V., Gruffat D., Chilliard Y., Bauchart D. 2005. . "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Academic Publishers, pp. 137-150.
- Durand D., P. Gatellier and E. Parafita., 2010. in : « Muscle et viande de ruminant », (editors Bauchart D. et Picard B) Editions Quae, Versailles pp 183-196.
- Durand D., Savary-Auzeloux I., Ortigues-Marty I., Thomas E., Scislowski V., Peyron A., Bauchart D. 2006. 11^{èmes} JSMTV, Clermont-Fd, France.
- Evenepoel P., Claus D., Geypens B., Maes B., Hiele M., Rutgeerts P., Ghooys Y., 1998. *Alim. Pharmacol. Ther.*, 12, 10-11.
- Fasseas M. K., Mountzouris K. C., Tarantilis P. A., Polissiou M., & Zervas G., 2008. *Food Chem.*, 109, 173.
- Garcia-Segovia P., Andrés-Bello A., Martínez-Monzo J., 2007. *J. Food Eng.*, 80, 813-821.
- Gatellier P., Kondjoyan A., Portanguen S., Grève E., Yoon K., Santé-Lhoutellier V., 2009. *Food Chem.*, 114, 1074-1078.
- Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2009. *Meat Sci.*, 81, 405-409.
- Gandemer G., 1999. *Ocl-Oléagineux Corps Gras Lipides*, 6(4), 320-325.
- Gladine C., Morand C., Rock E., Bauchart D., & Durand D., 2007. *An. Feed Sci. Technol.*, 136, 281-296.
- Gobert M., Gruffat D., Habeau M., Parafita E., Bauchart D., Durand D., 2010. *Meat Sci.*, 85:676-683.
- Gobert M., Bauchart D., Parafita E., Durand D., 2011. 57th ICOMST, Ghent, Belgique.
- Grun Iu, Juhee Ahn, Clarke Ad, & Lorenzen Cl., 2006. *Food Technol.*, 60, 37-43.
- Hashizume T., Santo H., Tsujisawa H., Kosaka K., Yamashita M., Kinae N., 1991. *Food Chem. Toxicol.*, 29, 839-844.
- Hu, M. L., Frankel, E. N., Leibovitz, B. E., & Tappel, A. L., 1989. *J Nutr*, 119, 1574-82.
- Husain S., Hadi S.M., 1995. *Febs Lett.*, 364, 75-78.
- Lund M. N., Hviid M. S., & Skibsted L. H., 2007. *Meat Sci.*, 76, 226-233.
- Norat T., Lukanova A., Ferrari P., Riboli E. 2002. *Int. J. Cancer*, 98, 241-256.
- Morzel M., Gatellier P., Sayd T., Renner M., Laville E., 2006. *Meat Sci.*, 73, 536-543.
- Papageorgiou G., Botsoglou N., Govaris A., Giannenas I., Iliadis S., & Botsoglou E., 2003. *J. An. Physio. An. Nutri.*, 87, 324-335.
- Pierre F., Piedro G., Taché S., Cross A.J., Bingham S.A., Gasc N., Gottardi G., Corpet D., Guéraud F. 2006. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 15(11) : 2274-2279.
- Promeyrat A., Bax M.L., Traore S., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., Gatellier P., 2010. *Meat Sci.*, 85, 625-631.
- Promeyrat A., Gatellier P., Lebreton B., Kajak-Siemaszko K., Santé-Lhoutellier V., 2010b. *Food Chem.*, 121, 412-417.
- Rao D. N. & Sachindra N. M., 2002. *Food Reviews International*, 18, 263-293.
- Renner M., Dumont F., Gatellier P., 1996. *Meat Sci.*, 43, 111-116.
- Renner M., 2002. *Proceedings 9^{èmes} JSMTV*. Clermont-Fd, France.
- Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier P., 2008. *J. Agr. Food Chem.*, 56, 1488-1494.
- Sharedeh D., Gatellier P., Peyrin F., Astruc T., Daudin J.D., 2011. 57th ICOMST, Ghent, Belgique.
- Stadtman E.R., 1990. *Free Rad. Biol. Med.*, 8, 315-325.
- Thomas E., Gladine C., Durand D. 2005. *Congrès de la Société Française des Antioxydants*, Paris, France.
- Young J. F., Rosenvold K., Stagsted J., Steffensen C. L., Nielsen J. H., & Andersen H. J., 2003. *J Agric Food Chem*, 51, 6877-6881.

SUBSTITUTION PARTIELLE D'HUILE DE POISSON PAR DE LA GRAINE DE LIN EXTRUDEE CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL – EFFET SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE, LES RENDEMENTS DE TRANSFORMATION ET LE PROFIL EN ACIDES GRAS DES FILETS

MAIRESSE G.¹, CHESNEAU G.¹, LABBE L.², WEILL P.³

¹ Valorex, La Messayais, 35210 Combourtille

² INRA, UE0937 PEIMA - Le Drennec - 29450 Sizun, France

³ Association Bleu-Blanc-Cœur, La Messayais, 35210 Combourtille

Abstract: Partial substitution of fish oil with extruded linseed in rainbow trout diet : effects on growth performances, fillet yields and fatty acid composition.

This study investigate the impact of a partial substitution of fish oil by extruded linseed on the lipid profile of trout fillets, animal performance and fillet yields. 6 batches of 55 rainbow trouts (500g) were divided into six tanks of 1800L and fed for 120 days (final average weight: 1500g). 3 groups fed a control control (C, (commercial diet) and the three others this C diet added with 6.5% of extruded linseed as partial substitution (44%) of fish oil (Diet L). The partial substitution of fish oil by extruded linseed increased the levels of C18:3n-3 (+35%) in fillets without decreasing the level of long chain polyunsaturated fatty acid and without affecting the growth performance. In addition, an increase in fillet yields is observed with L diet because of a lower deposition of perivisceral fat. The partial substitution of fish oil by the extruded linseed is an effective solution to limit the use of fish oil for trout aquaculture.

Introduction

Le poisson est une source importante d'acides gras polyinsaturés n-3 à longues chaînes (AGPI n-3 LC) dont les bénéfices pour la santé humaine sont largement démontrés. Néanmoins, leurs teneurs sont sous l'influence de nombreux facteurs (alimentation, saison, teneur en lipides, sexe, état physiologique,...) et peuvent varier de façon importante. Cependant grâce à l'aquaculture et notamment à la maîtrise de l'alimentation, il est possible de garantir à la chair de poisson sa richesse en AGPI n-3. Actuellement, 30% des produits aquatiques consommés en France (34.5kg/hab/an) proviennent de l'aquaculture (FranceAgriMer, 2010). Or, l'élevage de poisson est très consommateur d'huile et de farine de poisson (en 2007 : 87% de l'huile de poisson produite et 57% des farines de poissons étaient destinés à l'aquaculture). Compte-tenu du rythme de croissance rapide de ce secteur aquacole (environ 8.8% par an, contre seulement 2.8% pour les autres secteurs de production de viande d'animaux d'élevage terrestre), et de la stagnation des volumes des pêches, la question de la disponibilité des matières premières huile et farine de poisson est posée. L'aquaculture doit ainsi répondre à un double défi : (i) produire plus tout en utilisant moins de farine et d'huile de poisson et (ii) produire en qualité et notamment en préservant les qualités nutritionnelles des produits.

Chez le tilapia, l'utilisation de graines de lin extrudées (riches en C18:3n-3, précurseur des AGPI n-3 LC) dans l'alimentation a permis d'accroître les teneurs en C18:3n-3 mais également celle des AGPI n-3 LC (Shapira et al., 2009). Ainsi, l'utilisation de graines de lin extrudées dans l'alimentation des poissons pourrait permettre d'augmenter les teneurs en AGPI n-3 totaux tout en limitant la baisse des AGPI n-3 LC. L'objectif de cette étude est d'étudier l'impact d'une substitution partielle d'huile de poisson par de la graine de lin extrudée sur les performances de croissance, les rendements de filetage ainsi que sur le profil lipidique des filets de truite.

Matériel et méthodes

6 lots de 55 truites arc-en-ciel (poids moyen : 379±8g) ont été répartis dans 6 bassins de 1800L et nourris pendant 120 jours. Trois lots ont reçu un régime Contrôle (aliment commercial) et 3 autres ce même régime contenant 6,5% de graines de lin extrudées en substitution partielle (44%) de l'huile de poisson (Régime Lin).

Les 2 régimes sont iso-protéiques (39%), iso-lipidiques (27%) et iso-énergétiques (Energie Digestible = 20,5 MJ/kg). La composition en acides gras des régimes est donnée dans le tableau 1. Les paramètres zootechniques et les rendements de transformation ont été mesurés. Les profils en acides gras ont été réalisés pour chaque bassin sur un pool de 5 filets parés par Chromatographie en Phase Gazeuse.

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

	Contrôle	Lin
AGS	15,8	13,0
AGMI	50,0	49,9
AGPI n-6	18,5	19,9
AGPI n-3	15,0	16,9
C18:3n-3	7,3	12,3
C20:5n-3	3,7	2,2
C22:5n-3	0,5	0,3
C22:6n-3	2,8	1,7
n-6/n-3	1,2	1,2

Résultats

Les performances de croissance n'ont pas été significativement affectées par l'aliment (Tableau 2). Il est possible de noter toutefois que sur l'ensemble de la période de l'essai, l'indice de consommation est numériquement plus faible chez les animaux nourris avec l'aliment lin (1,09 vs 1,15). Le rendement en carcasse est significativement plus élevé chez les animaux alimentés avec de l'aliment contenant du lin (86,6%) que chez ceux alimentés avec l'aliment Contrôle (85,6%). Cette différence se retrouve pour toutes les autres variables de rendement que ce soit le rapport viscéro-somatique qui passe de 12,8% à 13,7% ou les rendements en filets bruts ou parés ($p < 0,05$).

La teneur en lipides des filets (9,1% en moyenne) et les acides gras monoinsaturés (48,1% et 46,8% des acides gras totaux pour les filets Contrôle et Lin respectivement) ne sont pas modifiées ($p > 0,05$). Les teneurs en acides gras saturés diminuent (20,2 et 18,5% pour les filets Contrôle et Lin, $p = 0,02$) en faveur des teneurs en ALA (+35%) dans les filets Lin tandis que les AGPI n-3 à longues chaînes ne sont pas affectés (2,8 et 5,9% pour EPA et DHA, respectivement). En outre, les AGPI n-6 sont significativement plus faibles ($p = 0,03$) dans les filets Lin. Ainsi, le rapport LA/ALA est plus faible dans les filets Lin alors que le rapport AGPI n-6/AGPI n-3 n'est pas différent.

Tableau 2. Performances zootechniques et rendement de filetage (moyenne $\pm$ écart-type).

	Contrôle	Lin	P=
<i>Zootechnie</i>			
Poids début (g)	377 $\pm$ 7	380 $\pm$ 10	0,680
Poids fin (g)	1079 $\pm$ 53	1123 $\pm$ 27	0,266
Gain de poids (g)	701 $\pm$ 23	743 $\pm$ 23	0,241
Croissance spécifique (%)	0,87 $\pm$ 0,03	0,90 $\pm$ 0,02	0,234
Indice de consommation	1,15 $\pm$ 0,08	1,09 $\pm$ 0,02	0,238
Coefficient de condition	1,51 $\pm$ 0,14	1,45 $\pm$ 0,10	0,156
<i>Rendements technologiques</i>			
Rendement de carcasse (%)	85,7 $\pm$ 1,5	86,6 $\pm$ 1,3	0,010
Indice Viscéro-somatique (%)	13,8 $\pm$ 1,6	12,8 $\pm$ 1,1	0,008
Rendement filet brut (%)	66,7 $\pm$ 1,1	67,5 $\pm$ 1,6	0,032
Rendement filet paré (%)	55,8 $\pm$ 0,9	56,2 $\pm$ 1,3	0,033
<i>Profil en acides gras des filets (% acides gras totaux)</i>			
Lipides (%)	9,33 $\pm$ 0,64	8,83 $\pm$ 0,35	0,30
AGS	20,17 $\pm$ 0,74	18,50 $\pm$ 0,10	0,02
AGMI	48,07 $\pm$ 1,85	46,77 $\pm$ 0,42	0,30
AGPI n-6	15,10 $\pm$ 0,36	15,83 $\pm$ 0,15	0,03
AGPI n-3	15,73 $\pm$ 2,64	18,03 $\pm$ 0,40	0,21
C18:3n-3	4,23 $\pm$ 0,15	6,43 $\pm$ 0,15	<0,001
C20:5n-3 (EPA)	2,87 $\pm$ 0,51	2,70 $\pm$ 0,17	0,62
C22:6n-3 (DHA)	5,90 $\pm$ 1,82	5,87 $\pm$ 0,15	0,98
C18:2n-6/C18:3n-3	3,03 $\pm$ 0,18	2,08 $\pm$ 0,03	<0,001
AGPI n-6/AGPI n-3	0,98 $\pm$ 0,20	0,88 $\pm$ 0,02	0,42

Conclusions

La substitution partielle d'huile de poisson par de la graine de lin extrudée dans les aliments permet d'augmenter les teneurs en ALA des filets de truite sans diminuer celles des AGPI n-3 LC et sans affecter les performances de croissance. Par ailleurs, cette stratégie permet une amélioration des rendements de transformation. Ainsi, il est possible de limiter la part d'huile de poisson dans les aliments tout en garantissant aux consommateurs une teneur en AGPI n-3 totaux supérieure à des truites nourries avec un aliment standard et cela sans diminution des teneurs en AGPI n-3 à longues chaînes.

Cette étude a été conduite avec le soutien financier de la Région Bretagne.

FranceAgriMer, 2010. Les cahiers de FranceAgriMer 2010. Chiffres Clé. Pêche et Aquaculture. 31p.
Shapira N., Weill P., Sharon O., Loewenbach R. & Berzak O., 2009. J. Agric. Food Chem., 57(6), 2249-225.

EFFETS DE LA NATURE DE LA SUPPLEMENTATION LIPIDIQUE, DU MODE DE CONSERVATION ET DE LA CUISSON SUR LES QUALITES NUTRITIONNELLES ET SENSORIELLES DE LA VIANDE HACHEE BOVINE

NORMAND J.¹, BERTOUT A.^{1,2}, LE PICHON D.³, BASTIEN D.⁴, RIBAUD D.⁵

¹ Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 07

² ENSAIA, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy cedex

³ Chambres d'Agriculture de Bretagne, Station expérimentale de Maunon, 56430 Maunon

⁴ Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu cedex

⁵ Institut de l'Elevage, Service Biométrie, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12

Abstract: Effects of lipid supplementation, method of preservation and cooking on nutritional and sensorial qualities of minced beef

The purpose of this study was to investigate the effects of lipid supplementation, preservation and cooking on nutritional and sensory beef qualities. During 100 days, 24 Normand cull cows divided into 3 groups were fed with no lipid supplementation (control) / extruded linseed / extruded linseed + rapeseed. Minced beef patties (15% fat content) were produced from briskets of these cows. The patties were then stored for 4 days in a tray under air packaging or for 6 days under modified atmosphere packaging (70:30, O₂/CO₂). After storage, the patties were fried on a steel griddle until an internal temperature of 58°C. Linseed or linseed + rapeseed supplementation increased respectively C18:3 *n*-3 content of minced beef by 3 and 2 compared to control group and resulted in 111 or 86 mg of C18:3 *n*-3/100 g of minced beef. Preservation and cooking did not alter C18:3 *n*-3 content. However, onset of lipid oxidation measured by TBA-RS was observed during storage, especially for patties enriched in C18:3 *n*-3. No difference in flavor intensity was observed between groups but a greater fishy taste has been observed in the linseed group.

Introduction

Les lipides, par la quantité déposée, leur composition en acides gras (AG) et leur stabilité vis-à-vis de la peroxydation, sont des déterminants importants des qualités nutritionnelles et sensorielles des viandes. Au cours de la dernière décennie, de nombreux travaux (Bauchart *et al.*, 2010 ; Normand *et al.*, 2005) ont montré que l'alimentation des gros bovins est une voie de modulation possible de la composition en AG de leurs viandes et notamment de leur composition en acides gras polyinsaturés (AGPI) *n*-3. Cependant ces travaux ont principalement été réalisés sur des viandes maigres (3 à 7 % de lipides). Qu'en serait-il avec des viandes plus riches en matière grasse (MG), de type steak haché (à 15 % de MG) largement consommé en France ? Par ailleurs, la question de l'impact des procédés technologiques (conservation / cuisson) sur la qualité nutritionnelle des viandes a souvent été étudiée indépendamment du statut lipidique initial des viandes (Durand *et al.*, 2006). Or, une viande enrichie en AGPI, du fait même de sa richesse en AG sensibles aux phénomènes de peroxydation, pourrait subir des modifications de ses qualités nutritionnelles et sensorielles au cours de la conservation et de la cuisson. L'objectif de la présente étude était donc de mesurer l'impact d'un apport lipidique lors de la finition de vaches de réforme, sur la composition en AG de steaks hachés obtenus à partir de ces animaux, en prenant en compte les effets du mode de conservation et de la cuisson des produits.

Matériels et méthodes

Dispositif expérimental. Vingt-quatre vaches de réforme de race Normande taries et non gestantes, réparties en 3 lots de 8 animaux, ont été engraisées pendant environ 100 jours à la station expérimentale de Maunon. Durant cette période, chaque lot a été alimenté avec une ration constituée d'ensilage de maïs (5 à 8,5 kg MS), de tourteau de soja (0,4 kg MS) et d'un concentré expérimental (3,1 kg MS) renfermant i) aucune supplémentation lipidique pour le lot témoin (lot T), ii) 50 % de graine de lin extrudée pour obtenir un régime riche en AGPI *n*-3 (lot L), iii) 29 % de graine de colza et 16 % de graine de lin extrudées, pour obtenir un régime riche en AG monoinsaturés *cis* et secondairement en AGPI *n*-3 (lot CL). Les suppléments lipidiques des lots L et CL apportaient quotidiennement 700 g de lipides aux animaux, soit 5,8 à 8,2 % de la matière sèche ingérée. Des steaks hachés à 15 % de MG ont été fabriqués à partir du plat de côte découvert (*M. serratus ventralis thoracis*, *M. intercostales*) et du milieu de poitrine (*M. pectoralis profundus*) de chaque animal. Les steaks ont ensuite été conservés en frais i) en barquette sous film étirable pendant 4 jours (3 j à 0/2°C, 1 j à 6/8°C), ii) en barquette sous atmosphère modifiée enrichie en oxygène (70:30, O₂:CO₂) pendant 6 jours (4 j à 0/2°C, 2 j à 6/8°C). Au terme de la période de conservation, les steaks hachés ont été cuits sur une plaque à snacker (Thirode) à 250°C, jusqu'à atteindre une température à cœur de 58°C (cuisson saignante).

Mesures effectuées. La teneur en lipides des steaks hachés a été déterminée par extraction à l'éther de pétrole à chaud après hydrolyse à l'acide chlorhydrique (norme NF V 04 402 – janvier 1968). Les AG des steaks hachés ont été extraits et transestérifiés au trifluorure de bore, dans le méthanol, à froid, selon la méthode de Rule (1997) puis analysés par chromatographie en phase gazeuse (normes NF EN ISO 5508 – juin 1995 / NF EN ISO – juin 2000). L'oxydation des

lipides des steaks hachés a été évaluée par le dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBA-RS). Ces analyses ont été réalisées lors de la fabrication des steaks, en fin de période de conservation et après cuisson. L'intensité globale et les descripteurs spécifiques (rance, poisson, gras...) de la flaveur des steaks hachés cuits ont été appréciés par un jury de 12 experts, lors de dégustations monadiques séquentielles.

Résultats et discussion

Composition en acides gras. L'apport de lin dans la ration a multiplié par 3 la teneur en C18:3 *n*-3 des steaks hachés : 0,25 % des AG totaux dans le lot T vs. 0,86 % dans le lot L (Tableau 1). En revanche, l'apport du mélange « lin + colza » a multiplié la teneur en C18:3 *n*-3 par un peu plus de 2 seulement (0,58 %). L'apport de lin ou de « lin + colza » a permis de réduire le rapport C18:2 *n*-6 / C18:3 *n*-3 conformément aux préconisations des nutritionnistes (respectivement, 6,0 ; 2,3 et 3,0 dans les lots T, L et CL). D'un point de vue quantitatif, la teneur en C18:3 *n*-3 des steaks hachés du lot L était de 111 mg/100 g contre 34 mg dans le lot T ($p < 0,01$) et 86 mg dans le lot CL ($p < 0,05$). Normand *et al.* (2005) ont rapporté des teneurs en C18:3 *n*-3 de 16 à 45 mg/100 g dans le muscle long dorsal (2 à 5 % de lipides) chez des animaux de type viande ayant reçu 750 g/j de lin extrudé pendant 100 jours. La différence observée pourrait trouver son origine dans la quantité de lin apportée, la teneur en lipides des viandes et le type de muscle. Par ailleurs, la conservation n'a pas eu d'effet significatif sur les quantités de C18:3 *n*-3 des steaks hachés des différents lots (Tableau 2). La cuisson a induit une diminution significative de la quantité de C18:3 *n*-3 uniquement pour les steaks des lots L et CL conservés 6 jours sous atmosphère modifiée ($p < 0,01$). Cette diminution s'explique en partie par la perte de matière grasse (-2 %) observée lors de la cuisson.

Oxydations des lipides. Lors de la fabrication, les teneurs moyennes en TBA-RS des 3 lots de steaks hachés étaient de 0,3 mg/kg de produit brut. Les conservations sous film étirable ou sous atmosphère modifiée ont logiquement induit un démarrage de l'oxydation lipidique. Les teneurs en TBA-RS ont ainsi été multipliées par 5 après 4 j de conservation sous film étirable et par 7 après 6 j sous atmosphère modifiée. Dans les deux cas, l'oxydation a été plus marquée dans le lot L sans toutefois que la différence soit significative. Par rapport à la conservation sous film étirable, la conservation sous atmosphère modifiée a induit des teneurs en TBA-RS significativement plus élevées pour les lots L et CL : 2,7 vs. 1,8 et 2,2 vs. 1,5 mg/kg respectivement. En revanche, la cuisson n'a pas induit d'effet significatif sur la teneur en TBA-RS des steaks hachés. Cela est sans doute à rapporter au mode de cuisson peu agressif utilisé dans cette étude.

Flaveur. L'intensité de flaveur n'a pas été significativement différente entre les 4 lots pour les deux modes de conditionnement étudiés. Cependant, la flaveur spécifique de « poisson », bien que relativement faible en intensité, a été significativement ($p < 0,01$) plus importante dans le lot L que dans les lots T et CL. Campo *et al.* (2006) ont montré qu'il existait une liaison entre l'augmentation de la teneur en TBA-RS et l'apparition des défauts de flaveur. Ils ont fixé le seuil à partir duquel les consommateurs détectent ces défauts à 2,3 mg de TBA/kg. Il est donc probable que les problèmes de flaveur rencontrés sur les steaks hachés du lot L soient liés à une oxydation des AGPI.

Tableau 1. Lipides et composition en AG des steaks hachés lors de la fabrication (moyenne $\pm$ écart-type).

Lot	Témoin	Lin	Lin + colza
Lipides (g/100 g)	17,0 $\pm$ 1,5	15,3 $\pm$ 1,9	15,8 $\pm$ 3,7
C18:3 <i>n</i> -3 (% AGT)	0,25 $\pm$ 0,05	0,86 $\pm$ 0,13	0,58 $\pm$ 0,12
C18:3 <i>n</i> -3 (mg/100 g)	34 $\pm$ 9	111 $\pm$ 9	86 $\pm$ 25
C18:2 <i>n</i> -6 / C18:3 <i>n</i> -3	6,0 $\pm$ 1,0	2,3 $\pm$ 0,4	3,0 $\pm$ 0,3

Tableau 2. C18:3 *n*-3 (mg/100 g) des steaks hachés après conservation et cuisson (moyenne $\pm$ écart-type).

Lot	Témoin	Lin	Lin + colza
Fabrication (cru)	34 $\pm$ 9	111 $\pm$ 9	86 $\pm$ 25
4 j film étirable - cru	39 $\pm$ 10	115 $\pm$ 13	85 $\pm$ 25
4 j film étirable - cuit	33 $\pm$ 9	109 $\pm$ 16	76 $\pm$ 23
6 j atm. modifiée - cru	39 $\pm$ 10	115 $\pm$ 17	88 $\pm$ 24
6 j atm. modifiée - cuit	36 $\pm$ 8	90 $\pm$ 28	69 $\pm$ 19

Conclusions

L'apport de 1,75 kg/j de lin extrudé pendant 100 jours a permis de multiplier par 3 la teneur en C18:3 *n*-3 des steaks hachés à 15 % MG. Quantitativement, cela se traduit par une teneur en C18:3 *n*-3 d'environ 110 mg/100 g, qui reste néanmoins trop faible pour pouvoir bénéficier de l'allégation nutritionnelle « source d'oméga 3 ». L'apport du mélange « lin + colza » extrudé n'a pas eu la même efficacité et la question de l'intérêt d'un tel mélange se pose donc. Par ailleurs, la conservation et dans une moindre mesure la cuisson des viandes n'ont pas eu d'effets majeurs sur leur teneur en AGPI. En revanche, un démarrage de l'oxydation lipidique a été observé lors de la conservation. L'oxydation a été particulièrement importante pour les viandes enrichies en AGPI et conservées sous atmosphère modifiée. Cette oxydation s'est traduite au final par l'apparition d'une flaveur caractéristique de poisson dans les produits. Dans certaines conditions (produit relativement gras, conditions de conservation oxydantes), l'apport d'antioxydants en parallèle de la supplémentation en AGPI pourrait être nécessaire pour limiter ces phénomènes.

Ce travail a été conduit avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche (projet Lipivimus) et de FranceAgriMer.

Bauchart D., Thomas A., 2010. In Bauchart D., Picard B (Eds), Muscle et Viande de Ruminant, Editions Quae, Versailles.
 Durand D., Gruffat D., Ortigues-Marty I., Savary-Auzeloux I., Thomas E., *et al.*, 2006. VPC, Hors série 11° JSMTV, 103-104.
 Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I., 2006. Meat Sci., 72, 303-311.
 Normand J., Bastien D., Bauchart D., Chaigneau F., Chesneau G., Doreau M., *et al.*, 2005. Renc. Rech. Rum., 12, 359-366.
 Rule D.C., 1997. Meat Sci., 46, 23-32.

EFFET DE L'APPORT D'ACIDES GRAS N-3 ET D'ANTIOXYDANTS VEGETAUX DANS L'ALIMENTATION DU PORC SUR LES QUALITES NUTRITIONNELLES ET SENSORIELLES DU JAMBON SEC.

MOUROT J.¹, ROBERT N.², RAYNAUD L.², ARTURO-SCHAAN M.³, ROGER L.⁴

¹ INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles,

² Consortium du Jambon de Bayonne, PYRAGENA, INPAQ, Route de Samadet, 64410 ARZACQ,

³ CCPA, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé,

Abstract: Effect of addition of n-3 fatty acids and plants antioxidants on the nutritional and sensorial quality of pork dry-cured ham.

The fatty acids (FA) composition of pork meat influences the nutritional and sensorial qualities of dry cured products. Polyunsaturated FA can become peroxidised and produce a rancid taste. The common addition in the feed of vitamin E and plants antioxidants (AOV) allows to reduce the risk of peroxidation. This text reports the results of the nutritional and sensorial analysis carried out on dry cured hams (after 7 months of drying) from pigs that had received in their diet the same quantity of n-3 fatty acids and vitamin E in association with more or less plant antioxidants (batches AOV0 ; AOV2 ; AOV4). The percentage of n-3 FA is higher in pigs with AOV and the malondialdehyde (MDA) content is lower. From a sensorial viewpoint, no significant difference was revealed between the hams. All the hams were judged to be suitable for consumption. And it appears that despite a long drying, the addition of AOV in the swine feed reduces the fatty acids peroxidation.

Introduction

L'apport de graines de lin, source d'acides gras (AG) n-3, dans l'aliment du porc permet d'augmenter la teneur de la viande et des produits transformés en ces acides gras, ceci étant souvent associé à une diminution des AG saturés (AGS). L'ajout de vitamine E et d'antioxydants végétaux (AOV) dans l'aliment permet de réduire le risque de peroxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) et de conserver les qualités sensorielles des produits secs enrichis en AG n-3 (Mairesse et al., 2011). Les AOV (souvent des polyphénols) permettent de régénérer l'action de la vitamine E (Gladine et al., 2007). L'introduction des AOV sur une période courte (10 jours avant l'abattage) semble suffisamment efficace pour réduire la peroxydation des AG dans la viande fraîche et dans un produit à séchage court comme le saucisson sec (Mourot et al., 2011). On peut se demander ce qu'il en est pour les qualités nutritionnelles et sensorielles de produits comme le jambon sec, obtenu après un séchage de 7 mois. Ce sera l'objectif de cette étude.

Matériels et méthodes

24 porcs mâles castrés (3 lots de 8) ont reçu à partir de 50 kg de poids vif, pendant 2 mois, un régime identique enrichi en AG n-3 par des graines de lin extrudées (Tradi-Lin®). La teneur globale en lipides était de 3,6 % apportant 7,5 g de C18:3 n-3 (ALA) / kg d'aliment et 80 ppm de vitamine E. Un lot a reçu ce régime sans apport d'AOV (AOV0). Un autre lot a reçu ce régime supplémenté avec des AOV (2kg/ tonne d'aliment: AOV2) pendant toute la période. Le dernier lot a reçu le régime AOV0 pendant 50 jours puis un régime avec AOV (4kg/tonne) les 10 derniers jours avant abattage (lot AOV4).

Les jambons ont été transformés par Pyragena, la station expérimentale du Consortium du Jambon de Bayonne selon leur mode de transformation habituelle. Après un séchage de 7 mois, les jambons ont été tranchés. Sur la tranche entière, le gras et le maigre, les lipides ont été extraits à froid par un mélange méthanol-chloroforme. Le profil en AG a été réalisé par CPG et la mesure du MDA (malondialdéhyde, indicateur de la peroxydation des AG) par HPLC. Les résultats sont testés par analyse globale de variance avec l'effet régime comme facteur principal puis ils sont comparés deux à deux.

La dégustation des produits s'est déroulée au laboratoire Adour Bio Conseil. Le jury "Salaisons" est composé de sujets qualifiés et entraînés. Les sujets travaillent selon la technique du profil sensoriel conventionnel (profil obtenu par le traitement statistique de données issues de plusieurs sujets utilisant une liste unique de descripteurs).

Résultats et discussion

Analyse des lipides: Dans la tranche entière, les teneurs en lipides ne sont pas différentes (13,4 %, 14,4 % et 13,1 % pour AOV0, AOV2, AOV4). Dans le gras, elles sont différentes entre elles ($p < 0,001$) (62; 61 et 57 %). Pour la partie maigre, la teneur est également différente (4,7; 4 et 3,6%) ($p < 0,02$). Le pourcentage d'AG saturés de la tranche est identique entre les lots (37% des AG totaux). Celui des AGPI est plus élevé pour AOV4 ($p < 0,06$) avec 20 % vs 18 % pour AOV0 et AOV2. Ces observations sont identiques pour le gras et le maigre. Les pourcentages d'ALA sont significativement plus élevés dans le gras et la tranche entière pour AOV4 alors que cette différence n'est pas significative pour le maigre. Les teneurs en acides gras sont rapportées dans le tableau 1. Les observations vont dans le même sens que pour les expressions en pourcentage.

Tableau 1 : teneur en acides gras (mg/100 g) dans le gras, le maigre et la tranche entière

	Gras			maigre			tranche		
	AOV0	AOV2	AOV4	AOV0	AOV2	AOV4	AOV0	AOV2	AOV4
AGS	19200	18704	17570	1377	1133	963	4010	4312	4058
AGM	24080	23509	20898	1663	1399	1127	4734	5167	4539
AGPI	9638	9504	9218	690	585	511	1916	2133	2006
C18:2	6049	5905	5759	431	363	313	1211	1343	1264
C18:3	2444	2432	2393	119	104	102	429	495	458
LA/ALA	2,48	2,43	2,41	3,72	3,57	3,65	2,85	2,73	2,76

Teneur en MDA :

Pour les trois tissus étudiés, la teneur en MDA est significativement inférieure dans les lots ayant reçu des AOV ($p < 0,05$) (figure 1). Ces résultats confortent l'intérêt de l'incorporation des AOV dans l'alimentation animale conjointement aux AG n-3 (Mourot et al., 2011 ; Mairesse et al., 2011). L'absence de différence significative entre les lots avec AOV montre que l'efficacité de ces antioxydants est sensiblement identique. Les quantités et la durée de distribution ayant été différentes entre AOV2 et AOV4, il ne semble donc pas nécessaire d'apporter des AOV durant toute la période d'enrichissement du régime en AG n-3, mais simplement pendant les derniers jours de la vie de l'animal.

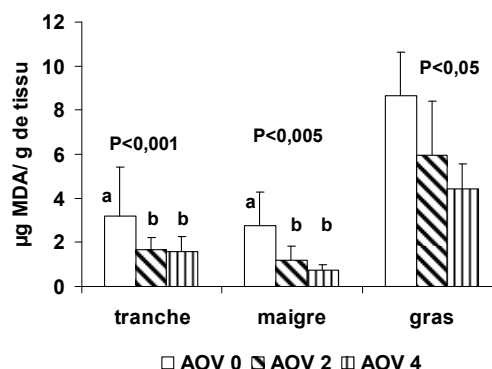


Figure 1 – Teneurs en MDA ($\mu\text{g/g}$ de tissu) dans le jambon en fonction des traitements.

Analyse sensorielle : La couleur jaune du gras semble identique entre les tranches des différents lots. Etant donné que la teneur en MDA est plus élevée dans le gras des lots issus d'animaux n'ayant pas ingéré d'AOV, le gras aurait pu apparaître plus jaune pour AOV0. Les tranches apparaissent moins persillées dans les jambons du lot AOV4 ($p < 0,001$) avec des notes respectives de 2,1 pour AOV0; 2,6 pour AOV2 et 1,3 pour AOV4. Ce critère pourrait être rapproché de la teneur en lipide plus faible du maigre de la tranche pour AOV4. Concernant l'odeur des produits, aucun des descripteurs mesurés ne se distingue significativement entre les tranches.

Pour la texture, il semble que l'aspect pâteux soit moins prononcé pour les tranches des lots avec AOV ($p < 0,06$). Ceci est difficilement explicable en relation avec les AOV.

Concernant le goût des produits, aucun des descripteurs étudiés n'est différent significativement. On peut cependant noter que le goût salé semble davantage marqué pour les tranches des lots AOV4. Ces jambons ayant un pourcentage en ALA supérieur aux autres jambons, cette observation est à rapprocher de résultats obtenus lors de la fabrication de jambons cuits montrant une meilleure pénétration du sel dans les muscles de porcs ayant davantage d'AG n-3 que les autres (De Broucker et al., 2008). Toutefois, la teneur en sel des tranches n'ayant pas été mesurée dans notre étude, il est difficile de valider cette hypothèse.

Conclusions

Cette étude a montré qu'il n'existait pas, après 7 mois de fabrication, de différence entre les qualités sensorielles des jambons issus des différents traitements. Tous les produits ont semblé être acceptables, ce qui n'était pas toujours le cas dans d'autres études où les durées de fabrication étaient plus longues. En premier lieu, il est important d'apporter à l'animal une quantité modérée d'AG n-3 et d'augmenter la quantité de vitamine E (au minimum 80 ppm contre 20 à 30 ppm en pratique usuelle). En second lieu, même si les AOV ne semblent pas améliorer les qualités sensorielles de produits secs enrichis en AG n-3, il apparaît que la teneur en MDA est significativement diminuée dans ces produits. L'intérêt d'apporter des AOV conjointement aux AGPI de la ration pour réduire les risques de peroxydation est maintenant bien établi. L'effet protecteur mis en évidence sur des produits secs à séchage court est confirmé sur des produits à séchage moyennement long (7 mois). La supplémentation de l'aliment en AOV pendant une période courte semble suffisante pour obtenir un effet sur la peroxydation.

Gladine C., Morand C., Rock E., Bauchart D., Durand D., 2007. Anim. Feed Sci. Technol., 136, 281-296

Mairesse G., Benet M., Méteau K., Juin H., Durand D., Mourot J. 2011 J. Food Science and Technology, 46, 2656-2662

Mourot J., Arturo-Schaan M., Fillaut M., Robin G., Foret R. Journ Rech. Porcines, 2011, 43, 59-60.

De Broucker T., Le Minous AE, Blochet JE, Guillevic M, Mourot J. Viandes et produits carnés, HS 12èmes JSMTV, 75-76

UN MODE DE CONDUITE BIOLOGIQUE ET UN NIVEAU ELEVE D'HERBE AMELIORENT LA QUALITE NUTRITIONNELLE DES ACIDES GRAS DE LA VIANDE CHEZ L'AGNEAU ENGRAISSE AU PATURAGE

BAUCHART D.¹, OUESLATI K.¹, THOMAS A.¹, BALLEST J.², PRACHE S.³

¹INRA, UMR 1213 Herbivores, Equipe Animal, Muscle, Viande (AMUVI),

²INRA, UE1153 Monts d'Auvergne,

³INRA, UMR 1213 Herbivores, Equipe Systèmes Biotechniques d'Elevage (SYBEL),
Centre de Recherche de Clermont-Ferrand/Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France.

Abstract: Organic production and high level of pasture availability improve the nutritional quality of meat fatty acids in lamb.

This study aimed at comparing the nutritional quality of meat fatty acids (FA) of pasture-fed lambs reared organically or conventionally and offered two levels of herbage availability. Forty eight castrated male lambs of Limousine breed were used in a 2 x 2 experimental design, i.e. production system (Organic –O– vs. Conventional –C–) x level of herbage availability (High vs. Low). The O and C pastures differed in the level of on-pasture mineral N fertilization (0 vs. 100 U. ha⁻¹. year⁻¹) since 10 years. The level of pasture availability was managed to obtain a mean lamb age at slaughter of 5 vs. 6 months in the High and the Low level respectively. GLC analysis of fatty acids from the *Longissimus thoracis* muscle showed that organic farming system improved the health value of lamb meat by decreasing the level of saturated FA and especially 16:0, thus leading to a higher value of polyunsaturated FA (PUFA) to saturated FA ratio (+15%, P<0.03) and increasing the level of CLA (+18.2%, P< 0.002). The high level of herbage availability led to a better nutritional and health value of meat FA by increasing significantly deposition of n-6 PUFA (+16.3%), n-3 PUFA (+15%) and CLA (+20.2%) in LT muscle to the detriment of saturated FA (-3.4%). In conclusion, the present study confirmed the general interest of pasture-feeding on the nutritional quality of the lamb meat. It showed, for the first time, the beneficial impact of organic farming on the health value of lamb meat FA by favouring deposition of PUFA (compared to saturated FA) and CLA, this effect being reinforced by a high level of pasture availability.

Introduction

L'élevage biologique s'engage sur des pratiques d'élevage respectueuses du bien-être de l'animal et de l'environnement, et chez les ruminants, sur l'alimentation des animaux au pâturage lorsque les conditions climatiques le permettent. Il s'interdit l'emploi de fertilisants de synthèse, de pesticides et d'hormones et limite l'emploi de produits pharmaceutiques de synthèse. Par rapport à l'alimentation en bergerie à base de concentrés, l'alimentation à base d'herbe naturellement riche en acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) de type 18:3n-3 (ALA) influence positivement les qualités nutritionnelles de la viande d'agneau (Aurousseau et al., 2007, Prache et al., 2011), avec une élévation des teneurs en AGPI n-3 et en 18:0 connus pour leurs propriétés anti-athérogéniques, et une diminution de la teneur en 16:0 pro-athérogène. En revanche, elle conduit à une viande de flaveur et d'odeur plus intenses, souvent jugée défavorablement chez les consommateurs français (Rousset-Akrim et al., 1997). Cet effet sur la flaveur/odeur de la viande est plus marqué chez les agneaux âgés (Rousset-Akrim et al., 1997) et en élevage biologique lié à la plus forte proportion de trèfle blanc dans les prairies (Prache et al., 2011).

Une comparaison des effets de l'élevage biologique par rapport à l'élevage conventionnel sur les qualités nutritionnelles et sensorielles de la carcasse et de la viande a été récemment réalisée à l'UMRH chez des agneaux engraisés à l'herbe en situations de pâturage très favorables (herbe de qualité offerte à volonté) (Prache et al., 2011). Dans cette première étude, le jury de dégustateurs a jugé que les côtelettes bio présentaient une intensité plus élevée du critère 'odeur anormale' de la partie grasse que les côtelettes conventionnelles. En revanche, peu de différences ont été observées en terme de valeur nutritionnelle des AG de la viande.

Le but de la présente étude est de comparer les effets du mode de production (Biologique vs. Conventionnel) et du niveau de disponibilité en herbe (Bas vs. Haut) sur la qualité nutritionnelle des acides gras (AG) de la viande d'agneaux engraisés au pâturage.

Matériels et méthodes

L'expérience a été réalisée sur 48 agneaux mâles castrés de race Limousine, nés entre le 17 mars et le 5 avril, et répartis au sevrage en 4 lots de 12 animaux en fonction des poids à la naissance et au sevrage et de l'âge. Ces agneaux ont été mis à l'herbe avec leur mère le 10 mai et leur sevrage a été effectué le 21 juin. Ils ont été engraisés exclusivement à l'herbe jusqu'à l'abattage à 35 kg de poids vif. Le schéma expérimental de type 2 x 2 avait pour facteurs expérimentaux le mode de production (Agriculture biologique, AB vs Conventionnel, C) et le niveau de disponibilité en herbe (Bas vs. Haut). Les prairies AB et C différaient par le niveau de fertilisation azotée minérale (0 vs. 100 U. ha⁻¹. an⁻¹), différentiel appliqué depuis 10 ans. Les deux niveaux de disponibilité avaient été choisis pour conduire à un âge moyen à l'abattage de 5 mois et 6 mois pour les niveaux Haut et Bas respectivement, soit une croissance moyenne sur toute la période expérimentale.

entre le sevrage et l'abattage de 170 et de 130 g/j respectivement. Les agneaux des deux lots « Haut niveau d'herbe disponible » ou des deux lots « Bas niveau d'herbe disponible » ont été maintenus à même niveau de croissance moyen, ajusté sur celui du lot de plus faible croissance. L'objectif a été pour les agneaux des deux lots « Haut niveau » de maximiser les préférences des agneaux, notamment vis-à-vis du trèfle blanc et, au contraire, de contraindre les agneaux des deux lots « Bas niveau » à se reporter sur les graminées, donc à réduire leur consommation de trèfle blanc.

Un jour après l'abattage, le muscle *Longissimus thoracis* (LT ; 150 g) a été prélevé, coupé en cubes de 1 cm³ et congelé puis broyé dans N₂ liquide produisant une poudre fine et homogène finalement stockée à - 80°C jusqu'à l'analyse des lipides et des AG. Les lipides ont été extraits à partir de 4g de poudre de viande par 3 fois 45 ml du mélange chloroforme-méthanol 2/1 (vol/vol) selon la méthode de Folch. Leurs AG ont été libérés puis transméthylés à 20°C par le méthanolate de Na puis par le BF₃-méthanol à 14%. Les esters méthyliques d'AG ont été analysés par CPG sur colonne capillaire haute définition de type CP Sil 88 (L= 100m ; d i = 0,25 mm ; gaz vecteur : H₂) et quantifiés par standardisation interne (19:0). L'analyse statistique de la teneur et de la composition centésimale des AG de la viande a été réalisée par analyse de variance à deux facteurs avec le logiciel SAS.

Résultats et discussion

Il n'y a pas eu d'effet du mode de production ni du niveau de disponibilité en herbe sur la teneur en AG totaux du muscle LT (Tableau 1). En revanche, un effet net des facteurs expérimentaux testés s'est exercé sur la distribution centésimale d'une majorité d'AG individuels. Le mode de production biologique n'a pas modifié les teneurs en AG insaturés *cis*, mais augmenté significativement celles des 18:1 *trans* (+ 12%). Il a amélioré la valeur santé de la viande en diminuant très significativement la proportion en AG saturés (AGS, - 4,2%), via celle du 16:0 (- 5,8%), et en augmentant le rapport AGPI/AGS de + 15,2% (P<0,03) et la proportion en CLA de + 18% (P<0,002).

Tableau 1. Effets du mode de conduite et du niveau de disponibilité en herbe sur la teneur en AG totaux et la composition centésimale en AG des lipides du muscle *Longissimus thoracis* chez l'agneau de race Limousine.

Mode de production	Conventionnel		Biologique		SEM	P		
Disponibilité en herbe	Bas	Haut	Bas	Haut		Mode de production	Disponibilité en herbe	Interac.
Σ AG (mg/100g frais)	3,10	2,61	2,53	2,31	0,25	0,084	0,158	0,815
16:0 (% AG totaux)	21,4	20,7	19,8	20,0	0,35	0,002	0,492	0,197
18:0 (-d°-)	18,2	16,9	18,6	16,4	0,79	0,886	0,032	0,567
Σ 18:1 <i>cis</i> (-d°-)	38,1	38,7	39,5	38,0	0,56	0,490	0,391	0,062
Σ 18:1 <i>trans</i> (-d°-)	3,78	4,08	4,18	4,58	0,17	0,014	0,054	0,800
18:2 n-6 <i>cis</i> (-d°-)	3,35	3,78	3,34	4,25	0,26	0,389	0,015	0,356
18:3 n-3 (-d°-)	1,54	1,73	1,61	1,82	0,08	0,340	0,013	0,917
Σ CLA (-d°-)	1,05	1,20	1,18	1,48	0,06	0,002	0,001	0,255
Σ AGPI n-6 (-d°-)	5,72	6,48	6,03	7,21	0,38	0,180	0,015	0,577
Σ AGPI n-3 (-d°-)	3,30	3,79	3,61	4,16	0,19	0,083	0,010	0,903
Σ AG saturés (-d°-)	47,1	45,0	44,6	43,7	0,64	0,005	0,020	0,385
Σ AGMI (-d°-)	41,9	42,7	43,7	42,6	0,50	0,100	0,791	0,047
Σ AGPI (-d°-)	10,1	11,5	10,8	12,9	0,58	0,071	0,005	0,595
AGPI/AG saturés	0,21	0,25	0,24	0,29	0,36	0,031	0,007	0,848
n-6/n-3	1,73	1,70	1,66	1,74	0,05	0,750	0,641	0,348

Le niveau de disponibilité en herbe a fortement modifié le profil en AG du muscle LT, indépendamment du mode de conduite. En augmentant significativement les proportions en AGPI n-6 (+16,3%), AGPI n-3 (+15,0%) et en CLA (+20,2%) au détriment des AG saturés (-3,4%) et l'absence d'effets sur les AGMI *cis* et *trans*, le haut niveau d'herbe disponible a également amélioré la valeur santé des AG de la viande d'agneau.

Conclusions

Cette étude confirme l'intérêt général de l'apport d'herbe sur la qualité nutritionnelle des AG de la viande chez l'agneau (Aurousseau et al, 2007). Elle montre, pour la première fois chez l'agneau, le bénéfice du mode de production biologique sur la valeur santé des AG de la viande, traduit par l'élévation du rapport AGPI/AGS et du pourcentage en CLA, ces effets étant renforcés lorsque la disponibilité en herbe est élevée.

Aurousseau B., Bauchart D., Galot A. L., Prache S., Micol D., Priolo A. 2007. Meat Sci., 76, 417-427.
Rousset-Akrim S., Young O. A., Berdagué J.L. 1997. Meat Sci., 45, 169-181.
Prache S., Gatellier P., Thomas A., Picard B., Bauchart D. 2011. Animal, 5 (12), 2001-2009.

LA TEMPÉRATURE DE CUISSON DE LA VIANDE PERMET DE MODULER LA VITESSE DE DIGESTION DES PROTÉINES, SANS AFFECTER LA DIGESTIBILITÉ DANS L'INTESTIN GRÊLE

BAX M-L.^{1,2,3}, BUFFIÈRE C.^{1,2}, HAFNAOUI N.^{1,2}, GAUDICHON C.⁴, SANTÉ-LHOUTELLIER V.³, RÉMOND D.^{1,2}

¹ INRA, UMR 1019, UNH, CRNH Auvergne, F-63000 Clermont-Ferrand

² Clermont Université, Université d'Auvergne, Unité de Nutrition Humaine, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand

³ INRA, UR370 Qualité des Produits Animaux, F-63122 Saint Genès-Champanelle

⁴ INRA-AgroParisTech, UMR 914, PNCA, F-75005 Paris

Abstract: Meat cooking temperature allows modulating protein digestion speed, without affecting digestibility in the small intestine

The nutritional potential of food proteins is modulated by the quantitative digestion in the small intestine (digestibility), which determines the amino acid (AA) bioavailability, and the speed of this digestion, which impacts on AA utilization for body protein synthesis. This study aimed to evaluate the effect of cooking temperature (CT°) on *in vivo* digestion of meat proteins. Three CT° were applied (30min) to ¹⁵N-labelled *Longissimus dorsi* muscles: 60, 75 and 95°C. Minipigs, fitted with an arterial catheter and an ileal canula, were fed a test meal containing this cooked meat. The speed of digestion, evaluated from the kinetics of indispensable AA appearance in blood, was greater for the CT° of 75°C, compared to the others. The true ileal digestibility, which averaged 95%, was not affected. These results show that CT° can be an interesting lever to modulate the speed of the meat protein digestion, without affecting AA bioavailability.

Introduction

L'évaluation de la qualité nutritionnelle d'une protéine est actuellement basée sur sa composition en acides aminés et sa digestibilité dans l'ensemble du tube digestif. Ce dernier paramètre est peu représentatif de la quantité d'acides aminés réellement mis à disposition de l'organisme. La digestibilité dans l'intestin grêle (site d'absorption des acides aminés) est plus pertinente, mais plus difficile à mesurer. Chez l'Homme, cette mesure nécessite la mise en place d'une sonde naso-intestinale, ou l'utilisation des patients iléostomisés. A l'heure actuelle, les quelques études disponibles ont été réalisées sur des protéines isolées, faisant ainsi abstraction de l'effet de la matrice alimentaire (Bos *et al.*, 2007; Mariotti *et al.*, 1999). Enfin, ces dernières années, il a été montré que la vitesse de digestion est également un critère important dans la définition de la qualité d'une protéine, notamment pour les personnes âgées, chez lesquels l'utilisation de protéines rapidement digérées permet d'améliorer la rétention postprandiale des acides aminés (Dangin *et al.*, 2003). Les protéines de la viande ont un bon équilibre en acides aminés indispensables et une importante digestibilité sur l'ensemble du tube digestif (Young *et al.*, 1975). Les rares études disponibles suggèrent que leur digestibilité iléale (Silvester et Cummings, 1995), et leur vitesse de digestion (Rémond *et al.*, 2007) sont élevées. Cependant, des études réalisées *in vitro* ont récemment montrées que l'intensité des traitements thermiques appliqués à la viande peut influencer la vitesse et l'efficacité de la digestion des protéines (Bax *et al.*, 2012). L'objectif de cette étude était d'étudier *in vivo* l'effet de la température de cuisson de la viande sur les paramètres de digestion des protéines (vitesse, digestibilité) en utilisant le miniporc comme modèle animal.

Matériel et Méthodes

Six miniporcs (Göttingen, 20-25 kg) équipés chirurgicalement d'un cathéter aortique ainsi que d'une canule au niveau de l'iléon ont été utilisés. Pour réaliser cette étude, nous avons produit de la viande dont les protéines étaient marquées avec de l'azote 15. Pour cela, un mélange d'acides aminés marqués (algal amino acids, 98% ¹⁵N, Cambridge Isotope Labs. Inc., MA), a été perfusé par voie intraveineuse, en continu pendant 14 jours, chez un veau pré-ruminant. Cinq jours après l'abattage de cet animal, les muscles *Longissimus dorsi* ont été prélevés et coupés en tranches. Ces tranches ont été réparties et cuites au bain-marie durant 30 minutes en fonction de la température de cuisson « à cœur » choisie : 60, 75 ou 95°C. Les repas distribués aux miniporcs contenaient la viande marquée (30 g de protéines), de l'amidon, de la cellulose, de l'huile, et de l'oxyde de chrome (marqueur de transit non absorbable). Suite à l'ingestion du repas test, les contenus digestifs ont été prélevés en continu durant 9 h, par fraction de 1 h. Les prélèvements sanguins ont été réalisés, à des temps fixes, pendant les 6 premières heures suivant le repas. Sur les contenus digestifs préalablement lyophilisés et broyés, la teneur en matière sèche et en azote total, l'enrichissement en ¹⁵N, et la concentration en oxyde de chrome ont été mesurés, permettant ainsi la détermination de la digestibilité iléale réelle. Les concentrations en acides aminés ont été mesurées sur les échantillons de plasma. Chaque condition de température de cuisson de la viande a été testée sur chacun des miniporcs. L'effet de la température de cuisson sur la cinétique de concentration plasmatique en acides aminés a été évalué en utilisant l'option des mesures répétées, dans un modèle mixte (animal = effet aléatoire ; temps, repas, temps * repas = effets fixes), celui sur la digestibilité par analyse de variance classique (logiciel SAS).

Résultats

La digestibilité iléale des protéines mesurée chez le miniporc suite à l'ingestion des repas tests n'a pas été affectée par la température de cuisson de la viande. Elle était de $94,7 \pm 0,5\%$ pour la cuisson à 60°C , de $96,3 \pm 0,4\%$ pour celle à 75°C , et de $95,1 \pm 0,7\%$ pour celle de 95°C .

L'effet de la température de cuisson sur la cinétique postprandiale de la concentration plasmatique en acides aminés indispensables (AAI) est représenté sur la **Figure 1**. L'évolution de ces concentrations pendant les 2 premières heures qui suivent l'ingestion du repas reflète principalement la libération des acides aminés alimentaires dans le compartiment sanguin. C'est donc un bon indicateur de la vitesse de digestion. L'augmentation de la température de cuisson de 60°C à 75°C permet d'augmenter la vitesse de digestion, cette vitesse diminue ensuite très fortement pour une température de cuisson de 95°C . Au-delà de la deuxième heure après le repas les concentrations en AAI ne sont plus différentes entre les différentes températures de cuisson.

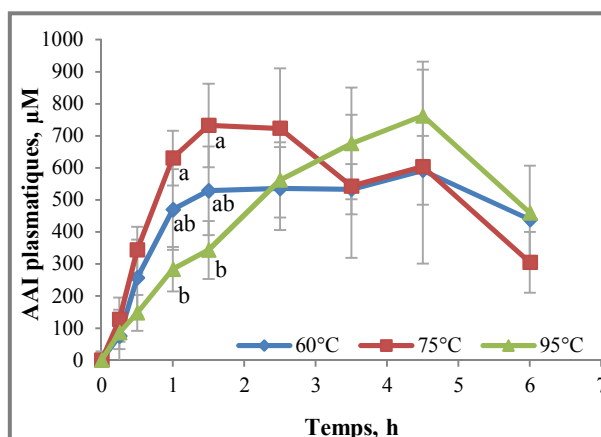


Figure 1: Effet de la température de cuisson sur la cinétique des AAI chez le miniporc, après le repas. Valeurs moyennes $\pm$ SEM. Pour un temps donné, des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes ($p < 0,05$).

Discussion

Établi par Boirie *et al.* (1997) à partir d'isolats protéiques laitiers, le concept de protéines 'lentes' ou 'rapides' est intéressant dans les situations physiopathologiques entraînant une 'résistance anabolique' du métabolisme protéique aux effets des nutriments et des hormones. C'est particulièrement vrai pour les personnes âgées (Dangin *et al.*, 2003) chez lesquelles cette résistance pourrait être à l'origine de l'érosion progressive de la masse musculaire (sarcopénie). L'utilisation de protéines 'rapides' permet, dans ce cas, la restauration de la réponse anabolique. La viande représentant environ 1/3 de nos apports protéiques, il est intéressant de pouvoir caractériser ses protéines en termes de vitesse de digestion. Une étude chez l'Homme montre que c'est à priori une source de protéines 'rapides' (Rémond *et al.*, 2007), avec une aminoacidémie postprandiale maximale (2 fois la concentration basale) observée 2 h après un repas de viande (cuisson 65°C). Des études *in vitro* suggèrent cependant que cette vitesse de digestion peut être altérée par les procédés de transformation, notamment par les traitements thermiques (Bax *et al.*, 2012). La présente étude sur miniporc montre, en accord avec l'étude chez l'Homme, que pour des cuissons de 60 à 75°C , les protéines de la viande se comportent comme des protéines 'rapides' (aminoacidémie doublée en 2 h), mais que pour des températures de cuisson élevées cette vitesse de digestion peut-être significativement réduite. La vitesse de digestion la plus élevée est observée pour une température de cuisson de 75°C . L'effet de la température de cuisson sur ce paramètre semble suivre une courbe en cloche qui pourrait s'expliquer par une dénaturation progressive des protéines pour des températures de cuisson jusqu'à 75°C , puis par la formation d'agrégats moléculaires pour des températures plus élevées. Ces processus conduisant respectivement à une augmentation, puis à une diminution de l'accessibilité des enzymes digestives à leur site de coupure (Bax *et al.*, 2012). Les digestibilités iléales réelles mesurées sont en accord avec celles observées chez l'Homme et ne sont pas affectées par la température de cuisson. Cette digestibilité étant très élevée (environ 95%), la quantité de protéines résiduelle entrant dans le colon est faible, et peu susceptible de générer dans ce compartiment de grandes quantités de produits potentiellement néfastes pour la santé colique (nitrosamines, sulfures,...).

Conclusions

La digestibilité dans l'intestin grêle des protéines de la viande est élevée et ce quel que soit la température de cuisson appliquée. La température de cuisson est un levier intéressant pour optimiser la vitesse de digestion, notamment dans le cas de la nutrition des personnes âgées.

Les auteurs remercient l'ANR PRONUTRIAL (ANR-09-ALIA-008-01), le FEDER et la région Auvergne pour leur soutien financier.

Bax ML., Aubry L., Ferreira C., Daudin JD., Gatellier P., Rémond D., Santé-Lhoutellier V., 2012. J. Agric. Food Chem., 60, 2569-2576.

Boirie Y., Dangin M., Gachon P., Vasson MP., Maubois JL., Beaufrère B., 1997. PNAS USA, 94, 14930-14935.

Bos C., Airinei G., Mariotti F., Benamouzig R., Bérot S., Evrard J., Fénart E., Tomé D., Gaudichon C., 2007. J. Nutr., 137, 594-600.

Dangin M., Guillet C., Garcia-Rodenas C., Gachon P., Bouteloup-Demange C., Reiffers-Magnani K., Fauquant J., Ballevre O., Beaufrère B., 2003. J. Physiol. (Lond.), 549, 635-644.

Mariotti F., Mahé S., Benamouzig R., Luengo C., Daré S., Gaudichon C., Tomé D., 1999. J. Nutr., 129, 1992-1997.

Rémond D., Machebeuf M., Yven C., Buffière C., Mioche L., Mosoni L., Patureau-Mirand P., 2007. Am. J. Clin. Nutr., 85, 1286-1292.

Silvester KR., Cummings JH., 1995. Nutr. Cancer, 24, 279-288.

Young VR., Fajardo L., Murray E., Rand WM., Scrimshaw NS., 1975. J. Nutr., 105, 534-542.

DIGESTIBILITE DE DIFFERENTS PRODUITS A BASE DE GRAINES DE LIN EXTRUDEES CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL ET EFFET A COURT TERME SUR LE PROFIL EN ACIDES GRAS DES POISSONS

MAIRESSE G.¹, CHESNEAU G.¹, AGUIRRE P.², MEDALE F.², WEILL P.³

¹ Valorex, La Messayais, 35210 Combourtille

² INRA, UR NuMea - Pôle Hydrobiologie, Quartier Ibarron - 64310 St Pée-sur-Nivelle

³ Association Bleu-Blanc-Cœur, La Messayais, 35210 Combourtille

Abstract: Digestibility of different extruded linseed-based ingredients in rainbow trout diet and short-term effect on fatty acid profile of fish

The substitution of fish oil by plant feedstuffs is of high interest for aquaculture. In this context, this work aims to measure the digestibility of extruded linseed-based ingredients in rainbow trout diet and the effects of these ingredients on fatty acid composition of trout. Three processes (A, B, C) of cooking-extrusion of a mixture of linseeds/favabeans were tested and compared to an isolipidic mixture of linseed oil/favabeans. These ingredients were incorporated at 25% or 12.5% in a standard diet. Three batches of fish (n = 15) were fed with one of the 6 diets for 3 weeks. The ADC (apparent digestibility coefficients) of diets and linseed-based ingredients were assessed. The results showed a significant effect of extrusion process of linseed on digestibility. The process C at a rate of inclusion of 12.5% led to the best digestibility and maintained high levels of long-chain polyunsaturated fatty acids in fish. Further experiment is required for studying the long term effect of these linseed-based ingredients as substitutes for fish oil on growth performance, fillet yields and fatty acid profile of the trout fillet.

Introduction

La pénurie d'huiles de poisson impose la recherche de matières premières végétales terrestres alternatives permettant de conserver la valeur nutritionnelle des lipides des poissons riches en acides gras polyinsaturés n-3 à longue chaîne (AGPI n-3 LC). Le lin est la plante la plus riche en AGPI n-3, notamment en C18:3n-3 (Pickova *et al.*, 2007), précurseur des AGPI n-3 LC. Les essais de substitution d'huiles de poisson par de l'huile de lin dans les aliments piscicoles ont, en général, conduit à une baisse des teneurs en AGPI n-3 LC chez les poissons et une accumulation de C18:3n-3. Cependant, des essais chez le tilapia ont montré que si l'apport de lin extrudé permet d'accroître la teneur en C18:3n-3, il accroît également la teneur en AGPI n-3 LC (Shapira *et al.*, 2009). Ainsi, l'utilisation de graines de lin extrudées dans l'alimentation des poissons pourrait permettre d'augmenter leur contenu en AGPI n-3 totaux tout en limitant la baisse des AGPI n-3 LC. Avant d'envisager l'utilisation de cette nouvelle matière première chez la truite, il fallait s'assurer que les produits de graines de lin extrudées étaient correctement digérés.

Matériel et méthodes

Trois process différents (A, B, C) de cuisson-extrusion d'un mélange de graines de lin/fèves (GLF) (65/35%) ont été testés (GLF-A, GLF-B, GLF-C) et comparés à un mélange isolipidique d'huile de lin et de fèves (HLF) (25/75%). Ces mélanges ont été incorporés à hauteur de 25% ou 12,5% dans un aliment contrôle (Ctrl) (Tableau 1). Dix-huit groupes de 15 truites arc-en-ciel (poids moyen 100g) ont été placés dans des bacs cylindro-coniques (150L, T = 17°C). Chacun des 6 aliments a été distribué à 3 groupes de poissons, 2 fois par jour jusqu'à satiété visuelle pendant 4 semaines. Les CUDa (coefficients d'utilisation digestive apparents) des aliments ont été calculés d'après Maynard *et al.* (1969) et les CUDa des matières premières à base de lin selon Burel *et al.* (2000). De plus, le profil en acides gras des poissons entiers a été déterminé par Chromatographie en Phase Gazeuse.

Résultats et discussion

Il existe des différences significatives importantes de CUDa selon le process de cuisson-extrusion des graines de lin (Tableau 2). La digestibilité globale de la matière sèche, des protéines et des lipides des régimes est significativement plus faible pour les process A et B. Le process C et le régime HLF présentent les meilleures digestibilités, comparables à celles du régime Ctrl. Plus spécifiquement, la plus faible valeur de CUDa des lipides est observée avec les régimes contenant le produit du process B. Il n'y a pas de différence significative pour le process C et le mix HLF, tous deux présentant des valeurs de digestibilité des lipides très élevées.

La teneur en lipides des truites n'est pas significativement différente entre les traitements, confirmant que le remplacement de l'huile de poisson par des substituts végétaux ne modifie pas l'adiposité des individus (Médale, 2009). Comparativement au régime Ctrl, l'alimentation avec les régimes à 25% de produits de lin conduit à des proportions moindres d'AGS et d'AGMI, une proportion plus élevée d'AGPI n-6 et une proportion significativement augmentée d'AGPI n-3 totaux (Tableau 3), liée à une accumulation de C18:3 n-3. Il faut noter que la proportion de DHA (C22:6 n-3) est maintenue avec les régimes à 25% de produits de lin, sauf pour le régime GLF-B et en lien avec sa plus faible

digestibilité des lipides. Enfin, chez les truites nourries avec l'aliment contenant 12,5% de produit issu du process C, les valeurs, pour toutes les classes d'acides gras, sont intermédiaires entre le groupe témoin et les groupes nourris avec les régimes contenant 25% de produits de lin, confirmant que les concentrations en acides gras corporels répondent à l'apport alimentaire selon une loi simple de dilution comme démontré par Benedito-Palos *et al.* (2009).

Tableau 1. Composition des régimes expérimentaux.

	Ctrl	GLF-A 25%	GLF-B 25%	GLF-C 25%	GLF-C 12.5%	HLF 25%
<i>Matières premières (g/kg)</i>						
GLF-A		250				
GLF-B			250			
GLF-C				250	125	
HLF						250
Farine de poisson	600	450	450	450	525	450
Blé entier	231	173,2	173,2	173,2	202,1	173,2
Huile de poisson	99	74,3	74,3	74,3	86,6	74,3
Alginate	20	15	15	15	17,5	15
Minéraux & Vitamines	40	30	30	30	35	30
Cr ₂ O ₃	10	7,5	7,5	7,5	8,8	7,5
<i>Composition chimique (%)</i>						
Matière sèche	92,8	92,4	91,8	92,1	91,9	92,1
Protéines	45,8	41,4	41,1	42,1	43,6	40,6
Lipides	19,2	21,0	21,1	20,9	21,0	21,3
Cendres	11,5	9,6	9,7	9,4	10,5	9,3

Tableau 2. Coefficients d'utilisation digestive apparents (CUDA) des aliments et des matières premières testées.

	CUDA Matière Sèche		CUDA Protéines		CUDA Lipides	
	Aliment	Ingrédient	Aliment	Ingrédient	Aliment	Ingrédient
Ctrl	79,8 ^a		90,5 ^a		95,0 ^a	
GLF-A 25%	68,5 ^d	34,6 ^b	85,4 ^b	77,8	82,5 ^{bc}	56,0 ^{ab}
GLF-B 25%	69,7 ^d	39,5 ^{ab}	86,1 ^b	73,8	76,6 ^c	36,5 ^b
GLF-C 25%	74,6 ^c	59,2 ^a	88,3 ^{ab}	98,9	88,7 ^{ab}	74,3 ^{ab}
GLF-C 12.5%	76,4 ^b	53,0 ^{ab}	89,1 ^{ab}	85,5	90,1 ^{ab}	90,8 ^a
HLF 25%	71,9 ^{cd}	48,2 ^{ab}	88,6 ^{ab}	97,3	88,5 ^{ab}	75,0 ^{ab}
<i>P value</i>	0.01	0.02	<0.01	0.07	<0.007	0.03

Tableau 3. Composition en acides gras (% AG totaux) du poisson entier.

	Ctrl	GLF-A	GLF-B	GLF-C	GLF-C	HLF	<i>P value</i>
		25%	25%	25%	12.5%	25%	
Lipides	8,9±1,0	8,2±0,8	8,0±1,0	8,5±0,5	8,3±0,6	8,6±0,9	0,89
AGS	22,2±0,9 ^a	19,1±0,1 ^b	19,9±0,3 ^b	19,5±0,6 ^b	21,4±1,0 ^a	19,4±0,5 ^b	<0,001
AGMI	34,3±0,6 ^a	31,4±0,6 ^b	31,8±0,5 ^b	30,9±1,5 ^b	31,9±1,1 ^b	31,3±1,0 ^b	0,004
AGPIIn-6	9,7±0,8 ^c	11,8±0,5 ^{ab}	11,6±0,2 ^{ab}	11,8±1,1 ^{ab}	10,2±0,8 ^{bc}	12,4±1,0 ^a	0,002
AGPIIn-3	27,3±0,3 ^b	32,7±1,4 ^a	31,7±0,2 ^a	33,0±1,8 ^a	31,1±1,0 ^a	33,0±1,3 ^a	<0,001
C18:3n-3	5,6±0,5 ^c	12,2±0,6 ^a	11,5±0,1 ^a	12,5±1,4 ^a	8,9±0,7 ^b	12,1±2,0 ^a	<0,001
C20 :5n-3	6,1±0,3 ^a	5,1±0,4 ^b	5,2±0,2 ^b	5,4±0,2 ^b	6,0±0,5 ^a	5,2±0,3 ^b	<0,001
C22 :6n-3	11,1±0,4 ^a	10,0±0,3 ^{ab}	9,8±0,1 ^b	10,0±0,6 ^{ab}	11,1±1,4 ^a	10,5±1,0 ^{ab}	0,03

Conclusions

Il existe un effet important du process d'extrusion de la graine de lin sur la digestibilité de ces matières premières chez la truite arc-en-ciel. Parmi les 3 process de traitement des graines de lin, le process C à la dose d'inclusion de 12,5% présente les digestibilités les plus intéressantes tout en maintenant des teneurs élevées en AGPIIn-3 LC dans les poissons. L'utilisation de ces matières premières extrudées comme substitut partiel de l'huile de poisson devra maintenant être testée chez la truite arc-en-ciel en grossissement, afin d'étudier l'effet à long terme de cette substitution sur les performances de croissance, les rendements de transformation et le profil en acides gras des filets de truite.

Benito-Palos L., Navarro J-C, Bermejo-Nogales, Saera-Vila A., Kaushik S., Perez-Sanchez J., 2009. *Aquaculture*, 288, 98-105.
 Burel C., Boujard T., Tulli F. & Kaushik S. J., 2000. *Aquaculture*, 188(3-4), 285-298.
 Maynard L. A. & Loosly J. K., 1969. *Animal Nutrition*, 6th Edition. New-York.
 Médale F., 2009. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44, 173-181.
 Pickova J. & Mørkøre T., 2007. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 109(3), 256-263.
 Shapira N., Weill P., Sharon O., Loewenbach R. & Berzak O., 2009. *J. Agr. Food Chem.*, 57(6), 2249-2254.

COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU MUSCLE *PECTORALIS MAJOR* DE POULETS DE CHAIR NOURRIS PAR DES REGIMES SUPPLEMENTES A LA SPIRULINE (*SPIRULINA SP*)

AIT-SAADAD.¹, BOUDEROUA K.¹, MOUROT J.², KEDDAM R.¹, SELSELET-ATTOU G.², AIT-CHAABANE O.².

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

²INRA, UMR 1348 PEGASE 35590 Saint-Gilles, France

Abstract: Meat fatty acids composition of broilers fed on diets supplemented by Spirulina

Spirulina is an alga that attracts the attention of scientists nutritionists. Indeed, it's an important source of nutrients in both human and animal nutrition. The objective of this study was to determine the effects of supplementation of broilers chicken's diets by spirulina on the fatty acid composition of meat. Broilers chickens were fed for 50 days with diet supplemented by spirulina. The fatty acids (FA) composition of meat show a significant amounts in polyunsaturated fatty acids (PUFAs) for spirulina group compared with the control group, (24.9 vs. 21, 5%). As such, the n-6 FA proportions in Spirulina group were in higher compared to spirulina group (22.4% vs. 19.5%-SP3-SP0, $P < 0.05$). This difference of proportions between batches is mainly due to the presence of arachidonic acid.

Introduction et but de l'étude

De nos jours, la spiruline est une algue qui attire l'attention des scientifiques nutritionnistes. En effet, grâce à ses vertus nutritionnelles tant en nutrition humaine qu'animale, elle est devenue un espoir pour certains pays en voie de développement en pouvant être utilisée comme un palliatif contre la malnutrition. La production mondiale de la spiruline a régulièrement augmenté de 1400T en 1995 à 4000 T en 2008 (Langlade et al., 2008). L'objectif de cette étude est de mesurer les effets de la supplémentation en spiruline de régimes alimentaires de poulets sur la composition en acides gras de la viande.

Matériels et méthodes

120 poulets (40 par lot) ont été nourris durant 50 jours par des régimes alimentaires supplémentés par de la spiruline (SP) provenant d'une ferme de culture. La spiruline est déshydratée puis broyée et incorporée aux différents régimes à raison de 1% (SP1), 3% (SP3) et de 0% (SP0), constituant le lot témoin sans spiruline. Les performances de croissance et le poids du tissu adipeux de la carcasse sont mesurés. A l'abattage, les échantillons de muscle *Pectoralis major* du poulet sont prélevés et conservés à -20°C jusqu'à leurs analyses ultérieures. Les lipides sont extraits avec le mélange chloroforme-méthanol (Folch et al, 1957). Les extraits lipidiques sont saponifiés par la soude et ensuite méthylés selon la méthode au méthanol-trifluorure de bore (Morisson et Smith, 1964). Les esters méthyliques d'acides gras sont ensuite analysés en chromatographie phase gazeuse. Les résultats sont testés par analyse de variance.

Résultats et discussion

A l'abattage, les poids vifs des poulets consommant les régimes supplémentés en spiruline (1722g-SP1 et 1644g-SP3) étaient globalement comparables à celui du témoin (SP0-1658g). Ces observations ont déjà été faites par Razafindrajona et al (2008). Les pourcentages du tissu adipeux abdominal par rapport au poids de la carcasse demeurent comparables pour les trois lots, de 0,75 à 0,81%. Les lipides intramusculaires du filet (tableau 1) apparaissent dans des proportions comparables entre les trois régimes, même si toutefois une légère augmentation est remarquée comparativement à la teneur de 0,9% rapportée par Ratnayake et al, (1989). Les résultats d'analyses d'acides gras (tableau 1) montrent une richesse non négligeable en acides gras polyinsaturés (AGPI) pour les lots de spiruline, notamment chez le groupe SP3 ($P < 0,05$) (24,9 vs 21,5% -SP0). A ce titre, les acides gras de la série n-6 dans le lot SP3 sont dans des proportions supérieures par rapport au lot SP0 (22,4%-SP3 vs 19,5%-SP0, $P < 0,05$). Cet écart des proportions entre les lots est surtout lié à la présence de l'acide arachidonique. Ce dernier est effectivement environ 1,5 fois plus important dans les filets du groupe SP3 par rapport à SP0 (4 vs 2,6%). Cette teneur est comparable à celle rapportée par Mourot (2010). Les AGPI du type n-3 sont dans des pourcentages relativement intéressants (1,90% -SP3 et 1,87%-SP1) comparativement au poulet témoin qui en renferme une teneur de 1,72%. Cependant, les AG à longue chaîne, dérivés du précurseur C18:3 n-3 comme l'acide EPA (C20:5 n-3) et DHA (C22:6 n-3), sont peu augmentés. Cela est la conséquence d'une part de la faible activité des delta 5 et 6 désaturases comme observée chez la plupart des animaux et chez l'Homme (Alessandri et al., 2009) et d'autres parts de la faible proportion du DHA et de l'EPA ; 1,79 et 7,7%. Par contre, les pourcentages d'acides gras monoinsaturés (AGMI) rencontrés dans le muscle des poulets de

SP3 et SP1 sont inférieurs ($P<0,05$) à ceux du groupe témoin, (44%-SP0 vs 40%- SP1). Enfin, les proportions d'acides gras saturés (AGS) sont comparables entre les trois régimes, environ 33 à 34%.

Tableau 1. Lipides totaux et AG musculaires (en % des AG identifiés) selon les régimes supplémentés en spiruline

Régime	SP0	SP1	SP3	Effet régime
Lipides totaux (g/100g)	1,12±0,38	1,20±0,17	1,20±0,27	NS
C16:0	24,35±0,72	24,85±2,19	24,17±1,02	NS
C18:0	9,78±0,57	8,56±1,29	8,89±1,46	NS
C16:1 n-7	4,61±0,60	5,47±1,07	5,13±1,79	NS
C18:1 n-9c	30,23±1,47	34,36±2,02	32,09±4,51	P<0,05
C18:2 n-6	15,85±0,98	15,14±0,87	16,64±2,27	NS
C18:3 n-3	0,59±0,13	0,71±0,18	0,69±0,04	P<0,05
C20:4 n-6	2,67±1,54	3,67±1,50	4,02±0,90	P<0,05
AGS	34,82±0,71	34,15±1,21	33,79±1,61	NS
AGMI	40,28±1,48	44,31±2,62	41,53±6,04	P< 0,05
n-6	19,51±2,88	22,36±4,16	22,43±1,70	P<0,05
n-3	1,72±0,73	1,87±0,63	1,95±0,181	P<0,05
AGPI/AGS	0,62±0,08	0,71±0,09	0,73±1,01	P<0,05

Chaque valeur est la moyenne de 10 animaux suivie de l'écart type. $P<0,05$ significatif ; NS non significatif. PS0 : 0% de spiruline, PS1 : 1% de spiruline, SP3 : 3% de spiruline

Conclusions

Les régimes des poulets supplémentés en spiruline induisent un enrichissement de la viande en acides gras polyinsaturés, notamment ceux de la série oméga 6, comparativement au régime témoin sans spiruline. Parmi, les AGPI n-6, l'acide arachidonique (de 3,60 à 4,02%) joue vraisemblablement un rôle important dans la valeur santé de la viande. Toutefois, l'utilisation de cette algue en alimentation des volailles peut être confrontée à la présence de divers pigments qui peuvent induire des colorations de la viande indésirables pour le consommateur.

Les auteurs remercient Martine Fillaut(PEGASE, INRA) Saint-Gilles pour les analyses de CPG

Alessandri J.M., Extier A., Astorg P., Lavalie M., Simon N., Guesnet P., 2009. Nutri Clin Metab., 23, 55-66.

Folch J., Less M., Sloane-Stanely J.H., 1957. J Biology Chemistry, 233, 311-320.

Langlade M.J., Alliod R., Charpy L., 2008. Colloque international sur la spiruline, Madagascar, 129-140.

Morisson W.R., Smith M.L., 1964. J. Lipid Res. 5, 600-608

Mourot J., 2010. Oléagineux, corps gras lipides, Vol. 17, 37-42 ;

Ratnayake WMN, Ackman RG, Hulan HW. 1989. J.Sci. Food Agric, 49, 59-74.

Razafindrajona, Rakotozandry N., Rakotozandrindrainy R., Ramapiherika K. D., Randria J. N., 2008. Colloque international sur la spiruline, Madagascar, 141-157.

AMELIORATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE CANARD DE BARBARIE PAR L'INTRODUCTION DE GRAINES DE LIN EXTRUDEES DANS L'ALIMENTATION

GUILLEVIC M.¹, KERVEVAN P.², KERHOAS N.³, CHESNEAU G.¹

¹Valorex, La Messayais, 35210 Combourtillé

²Procanar, 56190 Lauzach

³Bleu-Blanc-Cœur, La Messayais, 35210 Combourtillé

Abstract: Improving nutritional quality of Muscovy Duck meat by the introduction of extruded linseed in diet

This study investigates the impact of the incorporation of extruded linseed in Muscovy Duck's diet on the fatty acid profile of breast and thigh. 2 batches of ducks were done according to the nature of diets lipid sources: control (C, commercial diet) and linseed (L, extruded linseed). The incorporation of extruded linseed led to increase 3 times the level of C18:3 n-3 in breast and thigh; and increased slightly, in breast, n-3 long chain fatty acids. In addition, the C18:2/C18:3 ratio decrease from 12-15 to 4-5. The incorporation of extruded linseed in Muscovy Duck's diet is an effective solution for providing the consumers with a meat of enhanced nutritional quality.

Introduction

Les acides gras (AG) n-3 sont essentiels au bon développement de notre organisme ainsi qu'au maintien de nombreuses fonctions physiologiques (Simopoulos, 2008). D'après diverses enquêtes nutritionnelles, nos apports quotidiens en C18:3 n-3 sont en deçà des recommandations émises : environ 0,8 g consommés pour 2,2 g recommandés (ANSES, 2011, 2009). Pour permettre d'atteindre cet objectif, différentes stratégies peuvent être envisagées comme l'utilisation de la viande comme vecteur de C18:3 n-3. De nombreux travaux, notamment chez les monogastriques, mettent en évidence la possibilité d'influencer la composition en AG par la nature des lipides du régime (Kouba et Mourot, 2011). Cependant peu de travaux ont été menés chez le canard de barbarie qui, avec 3,5 kg de viande consommée par an et par habitant, pourrait jouer un rôle dans cette démarche nutritionnelle. Notons cependant une étude italienne, qui en incorporant de l'huile de poisson, s'interrogeait sur l'oxydation des produits (Schiavone et al., 2004). L'objectif de cette étude est de tester l'effet d'un apport de graines de lin extrudées dans l'alimentation du canard sur la qualité nutritionnelle de la viande.

Matériel et méthodes

L'essai a été mené sur des canards de Barbarie à partir de 21 jours de vie et ceci jusqu'à leur abattage (femelle : 70 j ; mâle : 84 j). Deux lots sont constitués : LIN lorsqu'il y a des graines de lin extrudées (Valorex, Combourtillé) ou TEM lorsqu'il s'agit d'un aliment commercial conventionnel. Les aliments sont formulés de façon à être iso-nutritionnels. Les séquences de distribution ainsi que la teneur en C18:3 des différents régimes sont référencés dans le tableau 1.

Tableau 1. Quantité de C18:3 n-3 (mg/kg) des régimes croissance et finition fournis aux canards.

	<i>TEM</i>	<i>LIN</i>
Aliment croissance (21 – 49 j)	50,5	76,1
Aliment finition (50 – 70/84 j)	188,9	313,8

A la fin de la période expérimentale, les canards sont abattus et les filets et cuisses, avec peau, sont échantillonnés (n=6 par lot). Les lipides sont extraits à froid par un mélange de solvants (hexane / isopropanol) pour en déterminer la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse. Une analyse de variance a été réalisée pour déterminer les effets du régime et du sexe (aucune interaction n'a été relevée), et lorsque les différences sont significatives, une comparaison de moyennes est faite par un test de Bonferroni.

Résultats et discussion

La teneur en lipide des cuisses n'est ni influencée par la nature des régimes ni par le sexe des canards, alors que celle des filets est significativement diminuée par l'apport de graines de lin (tableau 2), sans qu'une explication claire n'explique cette réponse différente d'un tissu à l'autre.

La composition en AG des tissus du canard de barbarie est largement influencée par l'alimentation. L'incorporation de graine de lin extrudée permet d'observer conjointement la baisse des AG saturés (C16:0 de 8 à 12 %) et monoinsaturés (C18:1 : jusqu'à 9 %). La baisse de la proportion des AG s'expliquent par l'action des AG n-3 fournis par la graine de lin sur les enzymes de la lipogenèse et la delta-9 desaturase pour le C16:0 et le C18:1 n-9, respectivement comme retrouvé chez le porc (Kouba et al., 2003). La proportion des AG polyinsaturés augmente significativement quel que soit le tissu. Cette hausse est le reflet direct de la nature des lipides ingérés comme largement démontré chez d'autres espèces monogastriques (Kouba et Mourot, 2011). Les AG n-3 augmentent significativement, notamment pour son précurseur C18:3, de plus de 3 fois. Les AG n-3 à longue chaîne augmentent aussi mais en proportion plus limitée du fait de la dilution lipidique via la peau. Enfin, le rapport C18:2 / C18:3 baisse significativement passant d'un niveau de 12 (filet) – 15 (cuisse) à des valeurs inférieures à 5 comme recommandé par l'ANSES.

L'effet sexe amplifie l'effet alimentation sur le profil en AG. Ceci s'explique d'abord par un métabolisme différent d'un sexe à l'autre mais aussi par une consommation plus longue de l'aliment à base de lin.

Tableau 2. Teneur en lipide et composition en acides gras des cuisses et filets de canard.

	<i>Cuisse</i>					<i>Filet</i>				
	TEM		LIN		Statistique	TEM		LIN		Statistique
	F	M	F	M		F	M	F	M	
Lipide (g/100g)	24,7	21,1	20,6	20,5		16,9	19,8	16,9	15,4	L***
AG saturés	32,4	30,8	30,0	29,4	S**	33,5	33,1	30,1	30,2	L***
C16:0	24,4	23,6	22,6	21,7	S** L***	25,2	25,1	22,4	22,1	L***
AG monoinsaturés	54,3	53,5	50,9	48,5	S** L***	51,1	50,7	50,3	47,7	S* L*
C18:1	50,4	49,6	47,3	45,3	S** L***	47,6	46,9	47,0	44,7	S* L*
AG polyinsaturés	13,7	15,9	19,4	22,3	S*** L***	15,5	16,4	19,5	22,2	S** L***
Série n-3	1,2	1,3	3,6	4,0	S* L***	1,1	1,1	3,5	3,9	L***
C18:3	1,0	1,1	3,3	3,8	S* L***	0,9	1,0	3,1	3,5	L***
C20:5	ND	ND	ND	ND		ND	ND	ND	ND	
C22:5	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,2	0,2	L*
C22:6	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,0	0,2	0,2	L**
Série n-6	12,4	14,5	15,6	18,0	S*** L***	14,3	15,2	15,9	18,1	S** L***
C18:2	11,4	13,4	14,6	16,9	S*** L***	13,0	13,7	14,8	16,7	S* L***
C20:4	0,5	0,6	0,5	0,6		0,7	0,9	0,7	0,9	S*
C18:2/C18:3	11,4	12,2	4,4	4,4	S*** L***	14,8	14,5	4,9	4,9	L***

Les résultats sont exprimés en pourcentages des acides gras totaux. TEM : lot témoin ; LIN : lot lin ; AG : acides gras ; F : femelle ; M : male ; S : effet sexe ; L : effet lot ; ND : non détecté. * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** : p<0,001.

Conclusions

L'introduction d'une faible quantité de graines de lin extrudées dans l'alimentation du canard de barbarie a un effet bénéfique sur la qualité nutritionnelle de la viande produite. Conformément aux recommandations de l'ANSES, la proportion des AG saturés diminue en raison de la baisse de l'acide palmitique et de l'augmentation des AG n-3. Le ratio entre les précurseurs des AG n-6 et n-3 se retrouve à des valeurs inférieures à 5. Le canard de barbarie, en complémentarité des autres produits de la démarche Bleu-Blanc-Cœur, constitue donc une bonne opportunité pour les consommateurs de trouver des produits aux qualités nutritionnelles améliorées pour un surcoût limité inférieur à 5%.

AFSSA. 2009. Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2) 2006-2007. p 228.

ANSES. 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire Alimentation, Environnement, Travail.

Kouba M., Enser M., Whittington F. M., Nute G. R., Wood J. D. 2003. J. Anim. Sci., 81, 1967-1979.

Kouba M., Mourot J. 2011. Biochim., 93, 13-17.

Schiavone A., Romboli I., Chiarini R., Marzoni M. 2004. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 88, 88-93.

Simopoulos M. D. 2008. Society for Experimental Biology and Medicine.

L'HUILE DE CAMELINE ASSOCIEE A DES EXTRAITS VEGETAUX FAVORISE LE DEPOT D'AGPI N-3 ET LIMITE LA LIPOPEROXYDATION DANS LE MUSCLE *LONGISSIMUS DORSI* CHEZ LE PORC EN FINITION

**CIUCA-LEFTER N¹, BAUCHART D.², THOMAS A.², HABEANU M.³, TARANU I.³,
DRAGOTOIU D.¹ and DURAND D.²**

¹Université des Sciences Agronomiques et Médecine Vétérinaire de Bucarest, Roumanie, Boulevard Marasti, n° 59, Bucarest, 011464 Roumanie. ²INRA, UMR 1213 Herbivores, Equipe Animal, Muscle, Viande (AMUVI), Centre de Recherche de Clermont-Ferrand/Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France. ³ Institut National de Recherche-Développement de Biologie Animale et de Nutrition, Rue Bucuresti n°1, 077015 Balotesti, Ilfov, Romanie.

Abstract: Camelina oil associated with a mixture of plant extracts favored deposition of n-3 PUFA and limit lipoperoxidation in *Longissimus dorsi* muscle of finishing pigs

The influence of dietary camelina oil and of a mixture of plant extracts rich in antioxidants on fatty acid (FA) composition of *Longissimus dorsi* muscle (LD) was evaluated in 30 Large White finishing pigs (67 ± 8 kg) during 30 days of finition. Pigs were fed a concentrate basal diet containing either 3.5% sunflower oil (T diet), 3% camelina oil (C diet) or 3% camelina oil + 2% plant antioxidant extracts (C+ Aox diet). Camelina diet reduced the n-6/n-3 ratio and increased deposition of C22:6n-3 (DHA) in LD muscle. Camelina oil increased the peroxidizability index, leading to a higher level of malondialdehyde (MDA) (+50%, $P < 0.05$) but associated with the plant extracts rich in polyphenols lipoperoxidation process was limited since muscle MDA of T and C+ Aox groups were not significantly different. The association of camelina oil with plant extracts rich in polyphenols can be an efficient dietary strategy to improve the nutritional fatty acid profile of lipids in LD muscle of finishing pigs without any negative impact on lipoperoxidation.

Introduction

Il est bien connu que la viande de porc est une des viandes les plus consommée en Europe mais qu'elle présente des teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPI) de la famille des n-6 trop élevée par rapport aux AGPI n-3, le rapport n-6/n-3 étant largement supérieur aux recommandations actuelles (14 vs. 5) (Ense et al., 2003). Dans le but d'enrichir cette viande en AGPI n-3, de nombreuses études ont testé l'effet de l'apport de graines oléagineuses dans la ration des animaux au cours de la période de finition. Cependant, il est maintenant bien connu qu'un tel enrichissement en AGPI peut conduire à une augmentation des processus de lipoperoxydation dans la viande notamment au cours de son conditionnement (Gobert et al., 2010). Le but de cette étude est de tester, au niveau du muscle LD de porcs en finition, l'effet d'un apport alimentaire en huile de cameline, riche en acides gras α -linoléique, associée ou non à un apport d'extraits de plantes riches en antioxydants comparativement à un régime apportant de l'huile de tournesol habituellement utilisée en Roumanie sur 1) la composition en AG et 2) la sensibilité à la lipoperoxydation.

Matériels et méthodes

Trente porcs de race Large White en début de période de finition, pesant 67 ± 8 kg ont été répartis en trois groupes expérimentaux. Pendant 30 jours le groupe «T» a reçu une ration à base d'aliment concentré supplémenté en huile de tournesol (3,5% de la matière sèche), le groupe «C» recevant la même ration de base mais supplémentée avec de l'huile de cameline (3% de la MS) et enfin un groupe «C+Aox» recevant la même ration que le groupe C supplémentée avec des extraits végétaux riches en polyphénols (2% de la MS). Après abattage des animaux, 20 grammes de muscle LD ont été prélevés puis broyés finement dans l'azote liquide. La composition centésimale en acides gras (AG) du muscle LD a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse et l'oxydation des lipides a été évaluée par la mesure de la teneur en malondialdéhyde (MDA). Le pouvoir antioxydant des muscles a été évalué par la détermination i) des teneurs en enzymes antioxydantes de type superoxyde dismutase (SOD) et catalase (Cat) ii) des teneurs en vitamines A et E et iii) par la mesure du statut antioxydant total (TAS) comme décrit par Gobert et al., (2010).

Résultats et discussion

Chez les porcs recevant le régime T à base d'huile de tournesol, la proportion d'AGPI (18% des AG totaux) est comparable aux valeurs habituellement rapportées dans les muscles de porc en finition (15 à 30 %) (Pieszka M., 2007), le rapport n-6/n-3 de 25 étant quand à lui parmi les valeurs les plus élevées de la littérature (Pieszka M., 2007). L'apport d'huile de cameline dans les régimes C et C + Aox a permis d'augmenter significativement la teneur en AGPI totaux (+27%, $P < 0,05$) dont le DHA (non détectable dans le muscle du lot T) au détriment des AG monoinsaturés (-10%, $P \leq 0,05$) (Tableau 1). Il a également permis de réduire très sensiblement le rapport n-6/n-3 (4 vs 26) ($P < 0,0001$) compatible avec les recommandations pour l'Homme. L'apport de cameline conduit à une amélioration de la composition en AGPI des muscles de porc aussi marquée que celle habituellement rapportée avec des suppléments en huile de lin, en particulier en ce qui concerne la teneur en DHA (Pieszka M., 2007, Nuernberg et al., 2005).

Tableau 1. Composition en acides gras (en % des AG totaux) du muscle *Longissimus dorsi* de porcs recevant le régime T enrichi en huile de tournesol, le régime C enrichi en huile de cameline ou le régime C + Aox enrichi en huile de cameline et en extraits de plantes riches en antioxydants.

Régimes	T	C	C + Aox	P
Σ AG saturés	41,70 ± 2,48	40,16 ± 1,37	40,88 ± 1,79	0,4782
Σ AG monoinsaturés	39,6 ^a ± 1,81	35,79 ^b ± 2,53	37,7 ^{ab} ± 1,63	0,0367
Σ AG polyinsaturés	18,14 ^a ± 2,35	23,09 ^b ± 2,71	20,27 ^{ab} ± 2,46	0,0281
n-6/n-3	25,79 ^a ± 3,61	3,82 ^b ± 0,83	3,46 ^b ± 0,11	< 0,0001
C22:6n-3 (DHA)	ND ^a	0,22 ^b ± 0,09	0,27 ^b ± 0,03	< 0,0001
Index de peroxydabilité	20,93 ^a ± 3,57	27,89 ^b ± 3,14	27,00 ^b ± 3,03	0,0107

Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (P<0,05), ND: Non détectable; AG saturés = C14:0 + C16:0 + C18:0; AG monoinsaturés = C14:1 + C16:1 + C18:1cis-9; AG polyinsaturés = C18:2n-6 + C18:3n-6 + C18:3n-3 + C20:4n-6 + C22:6n-3 + CLA. Index de peroxydabilité = (% diénoïque × 1) + (% triénoïque × 2) + (% tétraénoïque × 3) + (% pentaénoïque × 4) + (% hexaénoïque × 5)

Concernant les processus de peroxydation (Tableau 2), la teneur en MDA du muscle LD reste relativement faible (<0,5 µg/g) comparativement aux valeurs retrouvées dans différents muscles chez le porc (Mairesse et al., 2010). Cependant, l'apport d'huile de cameline, en augmentant la richesse en AGPI et donc l'index de peroxydabilité (28 vs 21, P<0,05), conduit à une teneur en MDA significativement augmentée (+ 50%, P<0,05). L'augmentation des processus de peroxydation dans le lot C peut également provenir de la faible teneur en vitamine E dans ce groupe par rapport au lot T (1,1 vs 3,2 µg/g, P≤0,05). L'apport d'extraits végétaux réduit le niveau de lipoperoxydation puisque la valeur en MDA est non significativement différente de celle mesurée dans le lot T, cette protection ne pouvant pas être attribuée à la vitamine E ni à celles des enzymes antioxydantes qui restent à des niveaux comparables à ceux mesurés dans le lot C. Les extraits végétaux, de par leur apport en polyphénols, seraient donc responsables de cette meilleure protection comme cela a déjà été observé chez le porc recevant des suppléments en graines de lin extrudées et en antioxydants de type polyphénols d'origine végétale (Mairesse et al., 2010).

Tableau 2. Concentrations en MDA, vitamines A et E, et en enzymes antioxydantes (SOD et catalase) et statut antioxydant total (TAS) du muscle *Longissimus dorsi* de porcs recevant le régime T enrichi en huile de tournesol, le régime C enrichi en huile de cameline ou le régime C + Aox enrichi en huile de cameline et en antioxydants.

Régimes	T	C	C + Aox	P
MDA (µg/g tissu frais)	0,24 ^a ± 0,05	0,36 ^b ± 0,10	0,29 ^{ab} ± 0,05	0,0561
TAS (µmol TEAC/g tissu frais)	2,50 ± 0,91	2,19 ± 0,86	2,64 ± 0,34	0,6222
Catalase (U/mg protéines/min)	0,002 ± 0,0004	0,003 ± 0,0010	0,004 ± 0,0017	0,2400
SOD (U/mg protéines/min)	2,83 ± 0,42	3,03 ± 0,65	2,66 ± 0,53	0,5844
Vitamine A (µg/g tissu frais)	0,03 ± 0,008	0,03 ± 0,006	0,04 ± 0,15	0,2545
Vitamine E (µg/g tissu frais)	3,20 ^a ± 0,47	1,14 ^b ± 0,62	1,40 ^b ± 0,48	< 0,0001

Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (P<0,05)

Conclusions

L'apport d'huile de cameline, à raison de 3% dans la ration des porcs en finition permet d'enrichir la viande en AGPI de la série n-3 en particulier en DHA, acide gras essentiel pour l'Homme, cet enrichissement s'exerçant au détriment des AG monoinsaturés. Cependant, cet apport devra être raisonné avec une supplémentation en antioxydants pour prévenir la lipoperoxydation. En effet, celle-ci sera inévitablement plus importante au cours des étapes de transformation des viandes, l'index de peroxydation étant plus important avec l'apport de cameline sans que le niveau de défense antioxydante endogène soit augmenté. Notre étude montre que l'apport d'extraits végétaux est une alternative intéressante pour prévenir ces processus de lipoperoxydation dans un contexte de naturalité des produits. Cette étude devrait être poursuivie pour évaluer l'efficacité de la source d'antioxydants végétaux employée dans cet essai au cours des processus de transformation des viandes, en particulier au cours de la conservation sous atmosphère modifiée ou au cours de la cuisson.

Ce projet a été soutenu financièrement par European Social Fund - POSDRU/107/1.5/S/76888

Enser M., Richardson R. I., Wood J.D., Gill B. P., Sheard P.R. 2000. Meat Sci., 55, 201-212.
 Gobert M., Gruffat D., Habeanu M., Parafita E., Bauchart D., Durand D. 2010. Meat Sci., 85, 676-683.
 Mairesse G., Benet M., Mourot J. 2010. 13^{èmes} JSMTV, Viandes et Produits Carnés (Hors Série), 55-56.
 Pieszk M., 2007. Polish J. Food Nutr. Sci., 57, 4, 509-516.
 Nuernberg K., Fischer K., Nuernberg G., Kwechenmeister U., Klosowska D., Eliminowska-Wenda G., Fiedler I., Ender K. 2005. Meat Sci., 70, 63-74.

EFFET DE L'APPORT D'ACIDES GRAS N-3 ET D'ANTIOXYDANTS VÉGÉTAUX DANS L'ALIMENT SUR LES QUALITÉS NUTRITIONNELLES ET SENSORIELLES DE LA VIANDE DE LAPIN

J. MOUROT¹, K. METEAU², M. ARTURO-SCHAAN³, K. BEBIN³, C. BRIENS³, L. GRENET⁴,
L. LARTIGUE⁵, C. ROUSSEAU⁵

¹ INRA – UMR 1348 PEGASE, 35590 St Gilles,

² INRA - Unité EASM, Le Magneraud, 17700 St -Pierre d'Amilly,

³ CCPA, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé,

⁴ Terrena, Nutrition Animale, La Noëlle BP 199, 44155 Ancenis,

⁵ Multilap, ZI, 49230 St Crespin sur moine,

Abstract - Effect of n-3 fatty acids and plant antioxidants in feed on sensory qualities of rabbit meat.

Feeding rabbits with a diet rich in n-3 fatty acids rich diet may increase susceptibility of meat lipids to oxidation, potentially affecting product sensory qualities. Rabbits were fed with a control diet (1.92 g/kg C18: 3 n-3) or 2 experimental diets enriched in C18: 3 n-3 (7.1 g/ kg) and with different mixtures of plant antioxidants. The fatty acid compositions of retail cuts show that deposited C18: 3 are related to ingested quantities. A trained panel of 12 persons tasted these pieces. 6 to 8 criteria were noted. No significant difference was observed between the 3 treatments. Thus plant antioxidants provided in feed can protect n-3 fatty acids and preserve the sensory qualities of the products.

Introduction

La supplémentation en acides gras (AG) insaturés des régimes, en particulier ceux de la famille des n-3, permet d'améliorer la qualité nutritionnelle de la viande de la plupart des espèces animales (Mourot, 2010). Ces AG insaturés peuvent présenter des risques accrus de peroxydation et ainsi altérer les qualités sensorielles de la viande. L'ajout d'antioxydant dans l'aliment comme la vitamine E ou des polyphénols permet de réduire la peroxydation des AG de la viande (Gobert *et al.*, 2008). L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de l'apport conjoint d'acides gras n-3 et d'antioxydants végétaux (AOV) dans l'alimentation du lapin sur la qualité des acides gras déposés dans la viande et les conséquences sur la qualité sensorielle de différentes pièces de découpe.

Matériels et méthodes

Animaux et prélèvements : 2688 lapins de souche Hyplus d'un poids moyen de 1074 ± 48 g au sevrage à 35 jours ont été mis en place et abattus à 71 jours au poids moyen de 2447 ± 72 g. Les animaux sont répartis en 3 lots recevant soit un régime témoin standard (T), soit l'un des 2 régimes enrichis à partir de 50 jours en C18:3 n-3 avec des graines de lin et supplémentés en anti-oxydants végétaux riches en polyphénols (AOV1 et AOV2). Le pourcentage en C18:3 n-3 des régimes était respectivement de 7,9 ; 19,4 et 19,3 % soit une teneur de C18:3 n-3 de 1,92 g ; 7,02 et 7,17 g/kg d'aliment.

Après abattage et découpe (n=12/lot), les morceaux ont été conditionnés en barquette sous atmosphère modifiée et stockées à +4°C. Les cuisses, gigolettes, râbles ont été dégustés en frais au 2/3 de la date limite de consommation. Les carcasses ont été gardées à +4°C jusqu'au 2/3 de la date limite de consommation puis congelées.

Analyse des acides gras : Les lipides ont été extraits dans tous les échantillons prélevés selon la méthode de Folch *et al.* (1957) à l'aide d'un mélange méthanol chloroforme. Le profil en AG de la viande a été déterminé par Chromatographie en Phase Gazeuse, après saponification et méthylation des lipides totaux, selon la méthode de Morrison et Smith (1964). Les profils en acides gras ont été soumis à un traitement statistique d'analyse de variance globale (procédure GLM du logiciel SAS). Les moyennes sont ensuite comparées 2 à 2 selon le test de Bonferroni. Le seuil de significativité a été fixé à 5%.

Analyse sensorielle : La cuisson a été adaptée à la nature des morceaux :

- les cuisses, gigolettes au four en chaleur humide à 100°C, en sachet individuel sous vide pendant 30 min
- les râbles au four en chaleur sèche à 250°C, puis en chaleur humide à 100°C, pour une durée totale de 30 min,

Pour chaque type de morceau un profil sensoriel a été réalisé par un jury entraîné de 12 personnes. Les échantillons ont été présentés en monadique, en une seule séance. Chaque dégustateur a évalué les critères définis sur une échelle continue allant de 0 (intensité nulle du descripteur) à 10 (intensité maximale).

Une analyse de variance suivie d'un test de Turkey (au seuil de 5%) de comparaison de moyennes a été réalisée sur les données individuelles, ainsi qu'un test de rang de Friedman.

Résultats et discussion

Composition en acides gras de la viande : Les résultats de composition en acides gras pour la viande crue de la carcasse entière sont rapportés dans le tableau 1. La teneur en AG n-3 est plus élevée chez les lapins qui en reçoivent le plus, ce

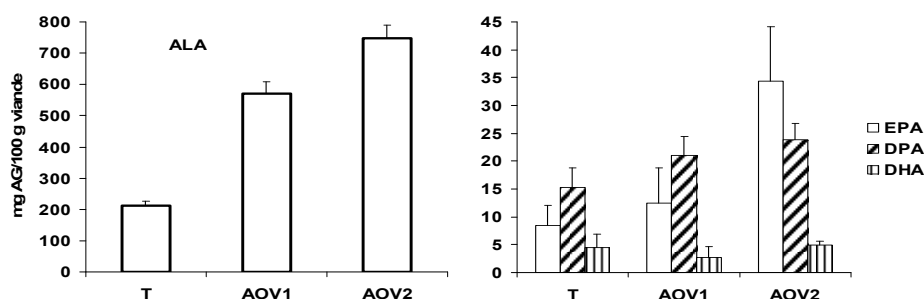
qui confirme l'intérêt d'une supplémentation de l'aliment en AG n-3 pour améliorer la qualité nutritionnelle de cette viande (Benatmane *et al.*, 2011). La cuisson n'altère pas les AG n-3. La teneur est augmentée dans la viande en raison de la perte en eau qui concentre les lipides (figure 1).

Tableau 1. Teneur en AG de la carcasse entière désossée crue (en mg d'AG par 100 g de viande).

lot	Lip	AGS	AGM	AGPI	C18:2n6	C18:3n3	C20:5n3	C22:5n3	C22:6n3	LA/ALA
T	7,78	2465a	2025	2196	1748	269a	13	14a	4	6,58a
AOV1	8,14	2115ab	2118	2484	1634	681b	12	21b	4	2,40b
AOV2	7,54	1897b	1916	2278	1492	602b	17	22b	5	2,53b
Rsd	1,02	420	361	337	245	91	8	3	1	0,48
Effet	NS	p<0,01	NS	NS	p<0,08	p<0,001	NS	p<0,001	NS	p<0,001

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

Figure 1 : Teneur en AG n-3 dans la viande cuite de la carcasse entière.



Analyse sensorielle : L'analyse de variance n'a pas mis en évidence de différence significative pour les critères évalués pour les cuisses, les gigolettes (tableau 2) et le râble (non rapportée). Pour le test de rang, la flaveur rance du lot AOV1 bien que faible a été notée significativement plus intense que celle du lot T.

Tableau 2. Profil sensoriel des cuisses et des gigolettes.

Critères	cuisses				gigolettes			
	T	AOV1	AOV2	Sign.	T	AOV1	AOV2	Sign.
Tendreté	5,0±0,9	5,1±0,8	4,9±1,0	NS	5,6±0,7	5,1±0,7	5,3±0,7	NS
Jutosité	3,6±0,9	3,9±1,0	3,7±1,0	NS	3,8±1,1	3,6±1,0	4,2±1,6	NS
Fibreux	3,1±1,0	3,3±1,2	3,5±1,5	NS	2,9±1,3	2,9±1,1	2,6±0,9	NS
Flaveur globale	4,9±0,9	4,5±0,8	4,8±0,8	NS	5,1±0,8	4,7±0,8	4,9±0,8	NS
Flaveur lapin	4,6±1,2	3,9±0,8	4,4±0,9	NS	4,3±1,6	4,0±1,3	3,6±1,4	NS
Flaveur gras	2,2±1,1	2,3±1,5	1,7±1,2	NS	2,9±0,9	2,9±0,9	2,8±0,9	NS
Flaveur rance	0,9±0,6	1,4±0,9	1,4±1,3	NS	1,0±0,7	1,6±1,4	1,2±0,8	NS

Les autres résultats non rapportés en composition d'acides gras et en analyse sensorielle vont dans le même sens que ceux exposés. Ainsi, malgré un apport accru d'AG n-3 dans la viande, la qualité sensorielle n'est pas différente, pour les critères mesurés, entre les lapins ayant reçu un aliment standard ou enrichi en n-3. On peut penser, comme pour les autres espèces animales, que les AOV ont joué un rôle protecteur vis-à-vis de la peroxydation des AG.

Conclusions

L'apport d'AG n-3 et des antioxydants végétaux dans l'aliment du lapin permet d'augmenter notablement le dépôt de ces acides gras dans la viande. La qualité nutritionnelle est donc améliorée et dans le même temps la qualité sensorielle n'est pas modifiée quel que soit le morceau de découpe. Cette étude a donc permis de confirmer l'intérêt de l'ajout d'antioxydants végétaux dans la ration du lapin. Il reste à trouver un équilibre entre l'aspect économique de cette production et l'image valorisante qu'elle pourra avoir auprès des consommateurs.

Les auteurs remercient la Région Bretagne et le Pôle de Compétitivité Valorial pour leur soutien financier.

Benatmane F., Kouba M., Youyou A., Mourot J. 2011, *Animal* 5, 1993-2000
 Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley G. H., 1957. *J. Biol. Chem.*, 226, 3497-3509.
 Gobert, M., Martin, B., Ferlay, A., Chilliard, Y., Graulet, B., Bauchart, D., Durand, D., 2008. *Proc. Nutr. Soc.* 67, 165-165.
 Morrison, W. R., & Smith L. M., 1964. *J. Lipid Res.*, 5, 600-608.
 Mourot J. 2010 *Cah Nut Diet*, 45, 320-326.

POTENTIEL DE LA SPECTROSCOPIE DE FLUORESCENCE POUR LA PREDICTION DES TENEURS EN ACIDES GRAS DANS LA VIANDE BOVINE : COMPARAISON ENTRE LES METHODES FRONTALE ET SYNCHRONE

OUANEZAR M.¹, GRUFFAT D.^{2,3}, AÏT-KADDOUR A.¹, MARDON J.¹, JACQUOT S.¹, FERLAY A.^{2,3}, BAUCHART D.^{2,3}

¹VetAgro Sup, UR2011.03.100 CALITYSS, BP 35, F-63370 Lempdes, France

²INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès Champanelle, France

³ VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

Abstract: Potential of fluorescence spectroscopy to predict different fatty acid contents in beef meat: comparison between front face and synchronous methods

The present study aimed to investigate the potential of using synchronous (SFS) and front face (FFS) fluorescence spectroscopies coupled with Partial Least Square (PLS) for the determination of fatty acid (FA) composition of beef samples. PLS models with leave-one-out cross-validation technique were considered in the present study. The models performances were analyzed principally by the R^2 and the ratio of standard deviation to root-mean-square error (RPD) factors. R^2 and RPD factors obtained with SFS were higher compared to the ones obtained with FFS. The results showed that SFS succeeded to predict saturated ($R^2_{CV} \geq 0.84$; $RPD \geq 2.5$) and mono-unsaturated FA ($R^2_{CV} \geq 0.70$; $RPD \geq 1.80$) and failed to predict poly-unsaturated FA ($R^2_{CV} \leq 0.58$; $RPD \leq 1.54$).

Introduction

Les viandes sont de fortes contributrices aux apports en lipides et notamment en acides gras saturés (AGS) pour le consommateur, dont une consommation excessive pourrait être liée à l'apparition de certaines maladies chroniques. Elles participent également, de façon plus modeste, aux apports en AG polyinsaturés (AGPI), dont les AGPI des séries n-3 et n-6 qui présentent des intérêts nutritionnels aujourd'hui reconnus. Une information précise de la composition nutritionnelle des produits est nécessaire pour le consommateur. Pour cela, les industriels de l'agroalimentaire utilisent des méthodes de références (chromatographiques et biochimiques). Celles-ci, bien que très performantes, présentent les inconvénients d'être, à la fois coûteuses, chronophages et polluantes et nécessitent un personnel qualifié, ce qui limite leur utilisation sur des lignes de production. Une alternative pourraient être l'emploi des méthodes spectrales à la fois, non destructives, peu coûteuses, rapides et pouvant être utilisées directement en ligne. La spectroscopie de fluorescence frontale (SFF) a déjà été utilisée pour certaines applications telles que l'authentification des produits (Dufour et Frencia, 2001) et la prédiction de la teneur en certains composés d'intérêt nutritionnel (Sahar et al., 2009). Ce présent travail vise à étudier le potentiel de deux méthodes de spectroscopie de fluorescence (SF), la SFF et la SFS (spectroscopie de fluorescence synchrone) pour la prédiction des teneurs en différents AG de la viande bovine.

Matériels et Méthodes

Échantillons de viande : cette étude a été conduite sur 85 échantillons de muscle broyés provenant de carcasses de jeunes taurillons de trois génotypes différant par leur maturité concernant l'activité lipogénique des tissus (Angus > Limousin > Blond d'Aquitaine). De plus, ces animaux ont été soumis à des régimes alimentaires variant par leur concentration et l'origine en lipides conduisant à maximiser la variabilité de la composition en AG. Les résultats obtenus par la méthode de référence ont montré que la teneur en acides gras dépend des régimes employés.

Analyse chromatographique de la composition en AG : les lipides totaux sont extraits à partir de la poudre de tissu fine et homogène (4 g) selon la méthode de Folch *et al.* (1957) par le mélange chloroforme-méthanol 2/1 (vol/vol) et quantifiés par gravimétrie. Par la suite, l'extraction des AG et leur transméthylation en esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont effectuées selon Bauchart *et al.* (2005). L'analyse des EMAG est réalisée par chromatographie en phase gazeuse (Peri 2100-model chromatograph, Perichrom Society, Saulx-les-Chartreux, France) avec une colonne CP-Sil 88 (Varian, USA) en utilisant l'hydrogène comme gaz vecteur, selon les conditions décrites par Scislawski *et al.* (2004). Les AG totaux sont quantifiés en utilisant le C19:0 comme standard interne. L'identification et le calcul des coefficients de réponse de chaque AG sont obtenus par comparaison avec un standard externe (C4-C24 FAME, Supelco, Bellafonte, USA).

Analyse par spectroscopie de fluorescence : pour la SFF, les spectres d'émission de la vitamine A (340-540nm), la vitamine E (400-650nm), la riboflavine (410-700nm), le NADH (360-570nm) et le tryptophane (305-400nm) ont été enregistrés respectivement, après une excitation aux longueurs d'onde 322, 350, 382, 316 et 290 nm. Pour la SFS, les spectres ont été enregistrés sur une plage d'excitation variant de 250 à 550 nm avec un décalage ($\Delta\lambda$) entre les monochromateurs d'excitation et d'émission de 20, 40, 60, 80, 100 et 120 nm.

Traitement des données : la méthode PLS a été utilisée afin de prédire la teneur en AG des échantillons. Avant analyse, les spectres ont été lissés par la méthode Savitsky-Golay et normalisés par la méthode Standard Normal Variate. Les modèles PLS ont été validés par la méthode "leave-one-out cross-validation". La performance des modèles PLS a été évaluée en analysant le coefficient de détermination (R^2_{cv}), le coefficient $RPD = 1/(1-R^2)^{1/2}$ et le RMSECV

(Root Mean Square Error of Cross-Validation). Le logiciel MATLAB (The Mathworks Inc., Natic, MA, USA, 2006) a été utilisé pour le traitement des données.

Résultats et Discussion

La figure 1 présente des spectres obtenus par la SFS, le nombre de bandes spectrales et l'allure des spectres dépendent des $\Delta\lambda$ utilisés. Le pic le plus important identifié à 290 nm avec les $\Delta\lambda = 20, 40$ et 60 nm peut être attribué à la fluorescence du tryptophane et de la vitamine E (Sarah *et al.*, 2009). D'autres pics sont également identifiés à 320 nm ($\Delta\lambda = 100$ et 120 nm) et à 460 nm ($\Delta\lambda = 20$ et 40 nm) et pourraient correspondre à la vitamine A et à la riboflavine, respectivement. Cette variation de l'allure des spectres se traduit par une différence entre les valeurs de prédiction (R^2_{CV} et RPD) obtenues à différents $\Delta\lambda$ pour chaque AG. Le tableau 1 présente les valeurs de R^2_{CV} , RMSECV et RPD obtenues au $\Delta\lambda$ optimal pour chaque AG. Ces résultats montrent une bonne prédiction pour les lipides totaux ($R^2_{CV}=0,843$ et $RPD=2,52$), les AG totaux ($R^2_{CV}=0,85$; $RPD=2,58$), les AG saturés ($R^2_{CV} \geq 0,84$; $RPD \geq 2,50$) et monoinsaturés ($R^2_{CV} \geq 0,70$; $RPD \geq 1,80$) mais une mauvaise prédiction pour les AG polyinsaturés ($R^2_{CV} \leq 0,58$; $RPD \leq 1,54$).

Les spectres obtenus par la SFF sont caractéristiques des fluorophores étudiés (résultats non présentés) (Sarah *et al.* 2009). Les valeurs de R^2_{CV} obtenues dépendent de la nature du fluorophore. Les meilleures valeurs R^2_{CV} ont été obtenues avec les spectres d'émission des vitamines A et E. Ce résultat serait dû à la nature liposoluble de ces vitamines notamment la vitamine A, qui a déjà été largement étudiée pour des applications en SF. Les modèles obtenus par la SFF ne permettent pas une bonne prédiction des teneurs en lipides totaux ($R^2_{CV}=0,73$; $RPD=1,92$), AG totaux ($R^2_{CV}=0,74$; $RPD=1,96$), saturés ($R^2_{CV} \leq 0,78$; $RPD \leq 2,10$), monoinsaturés ($R^2_{CV} \leq 0,75$; $RPD \leq 2$) et polyinsaturés ($R^2_{CV} \leq 0,49$; $RPD \leq 1,3$). Les valeurs de R^2_{CV} calculées par SFF sont sensiblement plus faibles que celles obtenues par la SFS. En effet, la méthode SFS a l'avantage de permettre une meilleure résolution des bandes spectrales et d'avoir accès à un seul spectre comportant différents fluorophores.

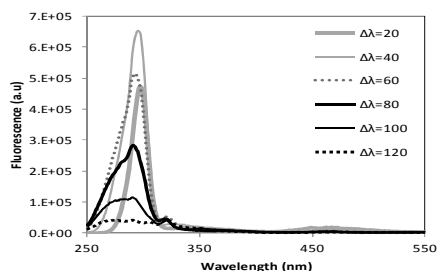


Figure 1. Spectres de fluorescence synchrone enregistrés à différents $\Delta\lambda$ (nm) sur des échantillons de viande bovine.

Tableau 1. Meilleurs modèles de régression PLS obtenus pour chaque composé lipidique avec la SFS (*mg/100g ; **g/100g de tissus frais). LV : Loading vector (voir le texte pour les abréviations)

	AG Sat- linéaires*	Lipide Totaux**	AG Totaux**	AGS Totaux*	AGS- ramif*	AGMI Totaux*	Somme AGMI cis*	C14*	C16-0*	C18-0*	C18-1-9 Cis*	C18-1-9 trans*	CLA*	Somme AGMI trans*	AGPI Totaux*
$\Delta\lambda$ optimal	60	120	120	60	120	60	120	60	120	20	60	60	120	40	80
LV	7	6	5	6	3	7	5	7	6	5	6	7	7	9	7
RMSECV	142,78	0,46	0,37	174,54	5,03	117,76	151,49	10,37	97,55	59,88	110,2	1,54	2,51	31,85	29,5
R^2_{cv}	0,89	0,84	0,85	0,86	0,85	0,84	0,85	0,87	0,84	0,84	0,88	0,84	0,78	0,69	0,58
RPDev	3,06	2,52	2,58	2,70	2,56	2,50	2,63	2,75	2,50	2,51	2,87	2,53	2,12	1,80	1,54

	Somme AGPI n-6 trans*	AGPI n-6 LongChain*	AGPI n-3 LongChain*	Somme AGPI n-6-cis*	Somme AGPI n-6*	Somme AGPI n-3*	C18-3 n-3*	C18-2 n-6 cis*	C18-1-10ou 11trans*	C20-4 n-6*	C20-5 n-3*	C20:4 n-3*	C20:3 n-3*	C22-5 n-3*	C22-6 n-3*
$\Delta\lambda$ optimal	80	100	60	60	60	40	120	100	20	60	40	40	100	60	120
LV	6	4	10	8	8	12	10	9	7	10	11	11	5	11	7
RMSECV	12,83	5,98	2,27	19,56	23,6	6,66	5,32	16,03	24,82	3,87	0,74	0,44	0,15	1,48	0,31
R^2_{cv}	0,53	0,22	0,47	0,39	0,52	0,56	0,46	0,42	0,69	0,28	0,36	0,40	0,13	0,40	0,32
RPDev	1,45	1,13	1,38	1,28	1,45	1,51	1,36	1,31	1,78	1,18	1,25	1,29	1,07	1,30	1,22

Conclusions

Cette étude montre l'intérêt indéniable de la SF pour prédire la teneur en AG de la viande bovine. La SFS apparaît clairement plus fiable que la SFF pour prédire les teneurs en AG totaux, saturés et monoinsaturés. Cependant, les SFS et SFF ne permettent pas une bonne prédiction des teneurs en AG polyinsaturés des séries n-3 et n-6 des viandes bovines.

Remerciements

Cette étude a bénéficiée de l'apport des échantillons de viandes de taurillons produites dans le cadre du Projet Européen « ProSafeBeef » (7^{ème} PCRD, Food CT-2006-36241).

Bauchart D., Durand D., Scislawski V., Chilliard, Y., Gruffat, D., 2005. Indicators of milk and beef quality, EAAP Publ. n°112, J. F. Hocquette and S. Gigli, eds, Wageningen Acad. Publishers.

Dufour E., Frencia J.P., 2001. Viandes et Produits Carnés, 22, 9-14.

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.

Sahar A., Boubellouta T., Lepetit J., Dufour E., 2009. Meat Sci, 83, 672-677.

Scislawski V., Durand D., Gruffat D., Bauchart D., 2004. Lipids, 39, 125-133.

DETERMINATION EN ABATTOIR DU PROFIL EN ACIDES GRAS DES BARDIERES DE PORC A L'AIDE D'UN SPECTROMETRE PROCHE-INFRAROUGE PORTATIF

MAIRESSE G.¹, DOUZENEL P.², MOUROT J.^{3,4}, VAUTIER A.⁵, LE PAGE R.⁶, GOUJON J.-M.⁶,
POFFO L.⁶, SIRE O.², CHESNEAU G.¹

¹ Valorex, La Messayais, 35210 Combourtille

² Université de Bretagne Sud, LIMATB, Campus Tohannic, 56000 Vannes

³ INRA, UMR1348, PEGASE, 35590 Saint-Gilles

⁴ Agrocampus Ouest, Rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes

⁵ IFIP, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu

⁶ Université Européenne de Bretagne, ENSSAT – CNRS, UMR 6082 Foton, 6 rue de Kerampont, 22305 Lannion

Abstract: Measurement at slaughterhouse of fatty acid composition of the backfat of pig using a portable near-infrared spectrometry.

This work aims to develop models to predict the fatty acid composition, including n-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) from a near infrared spectroscopy (NIRS) measurement directly on the slaughter line. The measurements were performed on the slaughter line on 282 backfat of pigs using a near infrared spectrometer (LabSpec 5000, ASD). The fatty acid composition of backfat were obtained using gas chromatography. The regression method was partial least squares (PLS). The models developed for C18:3n-3, n-3 PUFA and total PUFA gave the best results ($R^2 = 0.87$, 0.86 and 0.86 , respectively) with an associated uncertainty of 1.2, 1.5 and 2.8 points and average values of 2.4; 3.2; and 16.2, respectively. For all other fatty acids, $R^2 < 0.75$. The results show that it is possible to use NIRS to determine on the slaughter line the percentage of certain FA such as n-3 PUFA and enable them to be sorted according to quality criteria of fat.

Introduction

La qualité nutritionnelle de la viande de porc, notamment au travers de sa composition en acides gras, est un axe majeur de développement pour la filière porcine. Dans le cadre d'un programme de recherche collaboratif, une enquête menée par l'IFIP auprès d'abattoirs engagés ou non dans des filières d'amélioration du profil lipidique des porcs démontre le besoin d'un outil de détermination rapide et précoce du profil en acides gras des carcasses. Des travaux précédents menés par Gonzales-Martin *et al.* (2003) mettant en œuvre la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) n'avaient pas permis de développer des calibrations satisfaisantes pour la mesure des acides gras polyinsaturés n-3 qui constituent la famille d'acides gras d'intérêt pour ces filières de qualité, dans les gras de bardière. Cependant, des travaux préliminaires que nous avons réalisés sur 48 porcs ont montré que l'utilisation de la SPIR pouvaient permettre une détermination rapide et fiable de certains acides gras, notamment les acides gras polyinsaturés (AGPI) n-3 (Chesneau *et al.*, 2011). Cette étude a ainsi pour but de valider ces résultats préliminaires et de développer des modèles de prédiction de la composition en acides gras des carcasses de porcs à partir d'une mesure en SPIR, en conditions réelles d'utilisation (en abattoirs) et sur un plus grand nombre de porcs.

Matériel et méthodes

Collecte des échantillons et mesures. Afin d'obtenir une base de données représentative des profils d'acides gras des porcs abattus en France, les mesures ont eu lieu dans 4 abattoirs différents, sur un total de 32 lots de porcs charcutiers dont 50% provenaient de la filière Bleu-Blanc-Cœur (porcs riches en AGPI n-3) et 50% de la filière conventionnelle. Au total, la base de données est constituée de 282 individus. Sur chaque porc, une mesure infrarouge a été effectuée à chaud sur la chaîne d'abattage, au niveau du gras de bardière de la zone lombaire, à l'aide d'un spectromètre proche infrarouge portatif (LabSpec 5000, ASD, gamme spectrale : 350-2500 nm). La zone sur laquelle a été effectuée la mesure infrarouge a ensuite été prélevée pour la détermination de son profil en acides gras (% des acides gras totaux) par Chromatographie en Phase Gazeuse. En effet, nos résultats ont montré une meilleure prédiction des acides gras en relatif comparativement à la valeur absolue.

Développement des calibrations. Le développement des modèles de calibration (prédiction des acides gras à partir d'une mesure SPIR du gras de bardière) a été réalisé à l'aide du logiciel Unscrambler selon la méthode de régression des moindres carrés partiels (PLS1). Pour améliorer la linéarité entre l'absorbance et les concentrations en acides gras, une correction de diffusion (MSC, Multiplicative Scatter Correction) a été utilisée comme pré-traitement mathématique des spectres. L'évaluation des modèles de prédiction a été réalisée par validation croisée. L'évaluation de la qualité des prédictions est effectuée à partir du coefficient de détermination de la régression (R^2), du RMSEC (erreur quadratique moyenne de la calibration) et du RPD (rapport de performance ; rapport entre l'écart-type des valeurs d'acides gras obtenus par chromatographie et le RMSEC ; cette valeur devant être supérieure ou égale à 2) (Prieto *et al.*, 2009).

Résultats et discussion

Les meilleurs modèles de prédiction sont obtenus pour l'ALA (C18:3 n-3), les AGPI n-3 et les AGPI totaux (Tableau 1). Les coefficients de détermination sont respectivement de 0,87 ; 0,86 et 0,86 avec des incertitudes associées à la prédiction (définies comme 2 fois la valeur du RMSEC) de 1,24 ; 1,54 et 2,80 points. Ces résultats confirment ceux obtenus dans la précédente étude (Chesneau *et al.*, 2011). Ils sont à mettre en relation avec la variabilité importante de ces critères au sein de la base de données considérée et qui est représentative des pratiques alimentaires rencontrées sur le terrain au sein des filières standard ou d'enrichissement de viande en AGPI n-3.

Tableau 1. Calibrations développées pour différents acides gras sur la gamme spectrale 800-1830 nm.

Acides gras (% des acides gras totaux)	Moyenne	Ecart-type	Min-Max	R ²	RMSEC	RPD
AGS	39,10	2,45	31,85-45,92	0,61	1,50	1,63
C16:0	23,59	1,19	19,50-27,10	0,46	0,87	1,37
AGMI	44,71	3,15	36,40-54,41	0,67	1,80	1,75
C18:1	41,44	2,62	34,15-47,79	0,62	1,60	1,64
AGPI	16,19	3,81	8,65-31,44	0,86	1,40	2,72
AGPI n-3	3,18	2,09	0,80-9,26	0,86	0,77	2,71
C18:3 n-3	2,45	1,73	0,53-7,55	0,87	0,62	2,79
AGPI n-6	12,45	2,25	6,92-21,38	0,54	1,50	1,50
C18:2 n-6	11,93	2,24	6,54-20,80	0,57	1,50	1,49

AGS : acides gras saturés ; AGMI : acides gras monoinsaturés ; AGPI : acides gras polyinsaturés.

A notre connaissance, cette étude est la première à intégrer dans sa base de données des porcs issus de telles filières et a ainsi permis d'accroître la variabilité des teneurs en AGPI n-3 dans la base de données. Les travaux réalisés par Gonzales-Martin *et al.* (2003) sur des porcs dont les teneurs en C18:3 n-3 variaient entre 0,1 et 1,1% des acides gras totaux, ne permettaient pas d'intégrer ces porcs riches en AGPI n-3 et n'avaient donc pas permis de développer des modèles de prédiction satisfaisants pour ces acides gras, contrairement aux présents résultats.

Pour tous les autres acides gras, les coefficients de détermination sont inférieurs à 0,75 et les valeurs du RPD inférieures à 2, mais ces modèles pourraient être améliorés avec une base de données plus large et/ou plus variable, bien que des valeurs intermédiaires en AGPI n-3 soient difficilement rencontrées sur le terrain. Par ailleurs, avec la base de données utilisée ici, il apparaît que les incertitudes obtenues rapportées aux valeurs moyennes sont globalement élevées, ce qui tend à montrer que l'utilisation de cet outil à des fins de tri des carcasses (tri qualitatif) est possible. L'utilisation de la SPIR pour une quantification fine du profil en acides gras impose de réduire les incertitudes mesurées, ce qui passe nécessairement par l'augmentation de la variabilité des teneurs des différents acides gras dans la base de données.

Conclusions

Les résultats de cette étude montrent que la SPIR peut être utilisée comme méthode de mesure rapide, fiable et simple à mettre en œuvre pour la détermination des acides gras d'intérêt, notamment oméga-3 dans les tissus adipeux du porc. A terme, la filière porcine devrait pouvoir se doter d'une telle technologie pour une mesure d'acides gras in situ et en temps réel et ainsi orienter les carcasses au sein de différentes filières qualité sur la base de leur profil lipidique.

Cette étude a été conduite avec le soutien financier de la Région Bretagne.

Chesneau G., Mourot J., Douzenel P., Lahaye E., Mairesse G., Sire O., 2011. Jour. Rech. Porc., 43, 57-58.
Gonzales-Martin I., Gonzales-Perez C., Hernandez-Mendez J., Alvarez-Garcia N., 2003. Meat Sci. 65, 713-719.
Prieto N., Roehe R., Lavín P., Batten G., Andrés S., 2009. Meat Sci., 83(2), 175-186.



Session

Impacts Environnementaux



METHANISATION DES JUS DE PRESSAGE DES SOUS-PRODUITS D'ABATTAGE

PROROT A.¹, DEVILLERS P.H.², ALEYRANGUES X.², LEPRAT P.¹

¹ Groupement de Recherche Eau Sol et Environnement (GRESE), Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs (ENSIL), 16, Rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex

² ADIV – Zac Parc des Gravanches, 10, rue Jacqueline Auriol, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 2

Abstract : Methanization of liquids stemming from the pressing of slaughterhouse wastes

The anaerobic transformation or digestion of the organic material is due to numerous types of bacteria's and microorganisms. Two principal groups of bacteria's are used in this digestion. Acetogens are responsible for the transformation of organic material into volatile fatty acids. Methanogens are in charge of the gas production. This biogas is composed of CH₄ and CO₂, typically in the proportion of 65% of CH₄ and 35% of CO₂. Organic wastes are placed in a digester in conditions of humidity and temperature that are favourable to their transformation. Biogas conversion from organic waste can be either a complementary or alternative solution to other ways of elimination in a context of sustainable development. The aim of this study has consisted to evaluate the potential of liquids stemming from the pressing of slaughterhouse wastes to produce biogas.

Résumé :

Depuis ces dernières années, la tendance dans le domaine de l'industrie des viandes est à la diminution du nombre des installations et à la concentration de l'activité. De fait, ces entreprises augmentent leur consommation d'eau et génèrent plus de sous-produits animaux sur un même site. Elles sont donc aussi à l'origine de rejets liquides importants susceptibles d'être chargés en polluants organiques. Bien que ces effluents liquides soient généralement faciles à traiter, se pose néanmoins le problème de la bonne gestion de ces effluents dans un contexte de concentration des impacts présents sur les installations. Une solution séduisante, car novatrice et durable, à cette problématique consisterait à collecter et à traiter à la source l'ensemble des effluents chargés en pollution organique par méthanisation, pour produire du biogaz. La production de ce biogaz, essentiellement constitué de méthane – CH₄ - (typiquement 50 à 70%) et de gaz carbonique (CO₂), constituerait un apport d'énergie directement exploitable sur site, ce qui est loin d'être négligeable dans le contexte actuel général de hausse des tarifs énergétiques. La transformation de ressources organiques disponibles et renouvelables en énergies alternatives est également garante de la construction d'un futur en accord avec le développement durable. L'objectif principal de cette étude consiste donc à étudier la faisabilité du traitement des jus d'essorage-pressage des sous produits d'abattage par méthanisation.

Introduction

Une étude préalable intitulée «Traitements de réduction du volume des sous-produits d'abattage par filtration-essorage-pressage » a permis d'identifier et de tester des techniques simples à mettre en place pour réduire les quantités de sous-produits à évacuer des sites d'abattage et de découpe. Cependant, la contre-partie majeure de ce système optimisé est de générer des jus relativement chargés en pollution organique. La méthanisation, processus naturel de dégradation biologique de la matière organique réalisé en absence d'oxygène, appelée aussi fermentation, aboutit à la formation d'un gaz combustible appelé biogaz (CH₄ et CO₂ pour l'essentiel) et d'un résidu liquide ou solide appelé digestat. Cette alternative, qui permet une dégradation de la matière organique couplée à une production de biogaz directement valorisable sur site, apparaît donc comme une solution d'intérêt à la problématique de la gestion des jus d'essorage-pressage des sous-produits d'abattage.

L'objectif principal de cette étude, cofinancée par Interbev et FranceAgriMer, est donc d'évaluer la faisabilité d'un traitement des jus d'essorage-pressage des sous-produits d'abattage par méthanisation.

Matériel et méthodes

1. Les différents effluents analysés

L'ensemble des échantillons analysés dans cette étude ont été prélevés au sein de différents abattoirs participant à ce projet (Tableau 1).

Tableau 1 : Dénomination des différents échantillons collectés et analysés

Abattage	Dénomination	Diminutif
Mixte	Jus compactage refus de dégrilleur	Dégrilleur
Porc	Jus d'échaudage	Echaudage
Mixte	Jus de pressage des matières stercoraires	Mat. Sterc.
Mixte	Jus de compactage des refus de tamisage	Tamisage mixte
Mixte	Graisses de flottation	Graisses
Porc	Lavage des porcs après saignée	Lavage des porcs
Porc	Broyage fiel	Fiels
Porc	Vidage des boyaux (chaudins)	Chaudins
Porc	Jus de broyage des filandres	Filandres
Mixte	Eau de lavage de stabulation	Stabulation
Porc	Jus de compactage des refus de tamisage	Tamisage porcs
Porc	Jus d'épilage	Epilage
Porc	Jus de pressage des soies	Soies
Porc	Thermocoagulation sang clair	Sang clair
Porc	Thermocoagulation sang foncé (début process)	Sang foncé

2. Techniques mises en œuvre lors de la caractérisation physico-chimique et biochimique des effluents

La caractérisation biochimique est réalisée pour chaque échantillon. Celle-ci comprend l'analyse des matières totales (MS et MV), des matières particulières (MES et MVS), du phosphore total, de l'azote Kjeldhal, des lipides, de la DCO, de la DBO5 et du pH. Le potentiel bio-méthanogène a également été déterminé individuellement pour chaque effluent.

3. Mélanges représentatifs des différentes typologies d'abattoirs

Les mélanges représentatifs des quatre typologies d'abattoir : « Mixte », « Dominant Ruminant », « Spécialisé Porc » et « Spécialisé Ruminant » ont été élaborés à partir des échantillons individuels. Ils sont constitués d'un mélange de 8 effluents présents en différentes proportions (volumes) selon la typologie considérée (Tableau 2).

Tableau 2 : Composition des mélanges représentatifs des différentes typologies d'abattoir (% volumiques)

	Composition du mélange « Mixte »	Composition du mélange « Dominant Ruminant »	Composition du mélange « Spécialisé Porc »	Composition du mélange « Spécialisé Ruminant »
Sang	3,6%	3,2%	3,9%	3,3%
Soies	0,2%	0,2%	0,6%	0,0%
Viscères : boyaux pleins	6,4%	5,3%	2,2%	8,1%
Matières stercoraires	13,2%	13,6%	0,0%	19,1%
Refus de tamisage	1,4%	1,4%	1,7%	1,3%
Graisse de dégraissage	1,3%	1,3%	1,5%	1,1%
Refus de dégrillage	1,0%	1,0%	1,2%	0,9%
Eau de lavage de stabulation	73,0%	74,0%	88,9%	66,3%
Total	100%	100%	100%	100%

4. Mesure du potentiel bio-méthanogène (PBM)

Les tests PBM sont réalisés dans des flacons type « pénicilline » dans lesquels 92 mL d'échantillons sont introduits. Des boues de digesteur de la station d'épuration de Limoges (inoculum contenant des microorganismes) sont ensuite ajoutées à l'échantillon selon un ratio échantillon/inoculum égal à 4 (v/v). Cet inoculum constitue un apport en microorganismes nécessaire aux différentes étapes de la méthanisation permettant ainsi une digestion optimale de l'effluent.

D'autre part, toujours afin de se placer dans les conditions optimales, l'alcalinité du milieu est fixée par ajout de bicarbonate de sodium à 3 g/L.

Chaque flacon est ensuite fermé hermétiquement à l'aide d'un septum couplé à une bague de sertissage en aluminium puis placé à 33 °C dans un agitateur orbital (120 RPM). Le volume total du biogaz produit est mesuré régulièrement à l'aide d'un manomètre de type « U » relié à une aiguille. La composition de ce biogaz est déterminée grâce à un analyseur de gaz Innova (Airtech Instruments).

5. Essai en fermenteur

L'objectif de l'essai en fermenteur est identique à celui des tests PBM, c'est-à-dire qu'il consiste en une analyse quantitative et qualitative du biogaz produit à partir d'un échantillon donné. L'avantage de ce test par rapport au test PBM est sa représentativité puisque le volume d'effluent introduit est environ 38 fois supérieur à celui des tests PBM. L'essai en fermenteur a été réalisé sur le mélange « Spécialisé Ruminant » (Tableau 2).

Résultats et discussion

1. Démarche suivie

Pour évaluer l'aptitude des jus d'essorage - pressage à être méthanisés, chaque échantillon collecté a été caractérisé d'un point de vue biochimique et soumis à un test de potentiel bio-méthanogène. Les essais de faisabilité technique de la méthanisation ont ensuite été réalisés sur les quatre mélanges représentatifs des différentes typologies d'abattoir (tests PBM et test en fermenteur). La démarche analytique suivie au cours de cette étude est schématisée sur la Figure 1.

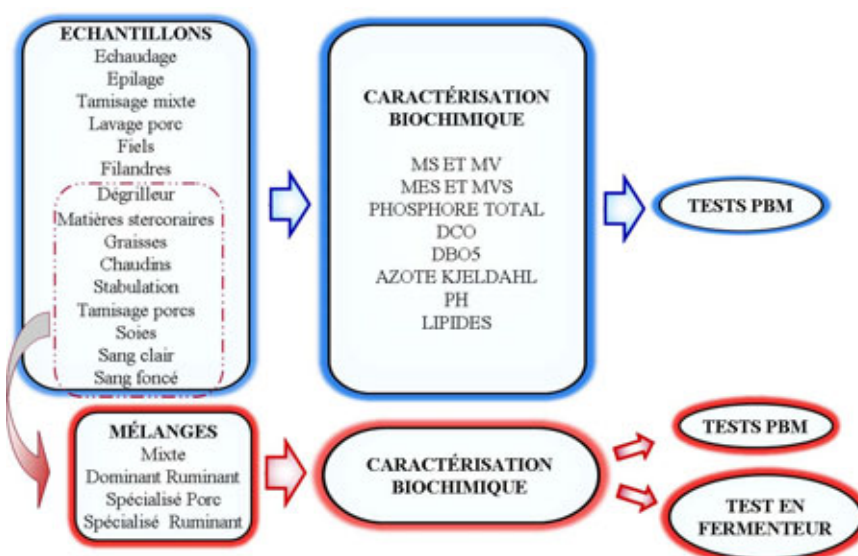


Figure 1 : Démarche analytique suivie

2. Caractérisation biochimique des différents effluents

La caractérisation biochimique, réalisée individuellement sur chaque effluent, comprend l'analyse des matières particulières (MES et MVS), des matières totales (MS et MV), du phosphore total, de l'azote Kjeldhal, des lipides, de la DCO, de la DBO₅ et du pH. Les résultats de ces différentes analyses sont résumés dans le tableau 3. Le potentiel bio-méthanogène a également été déterminé pour chaque effluent (Figure 2).

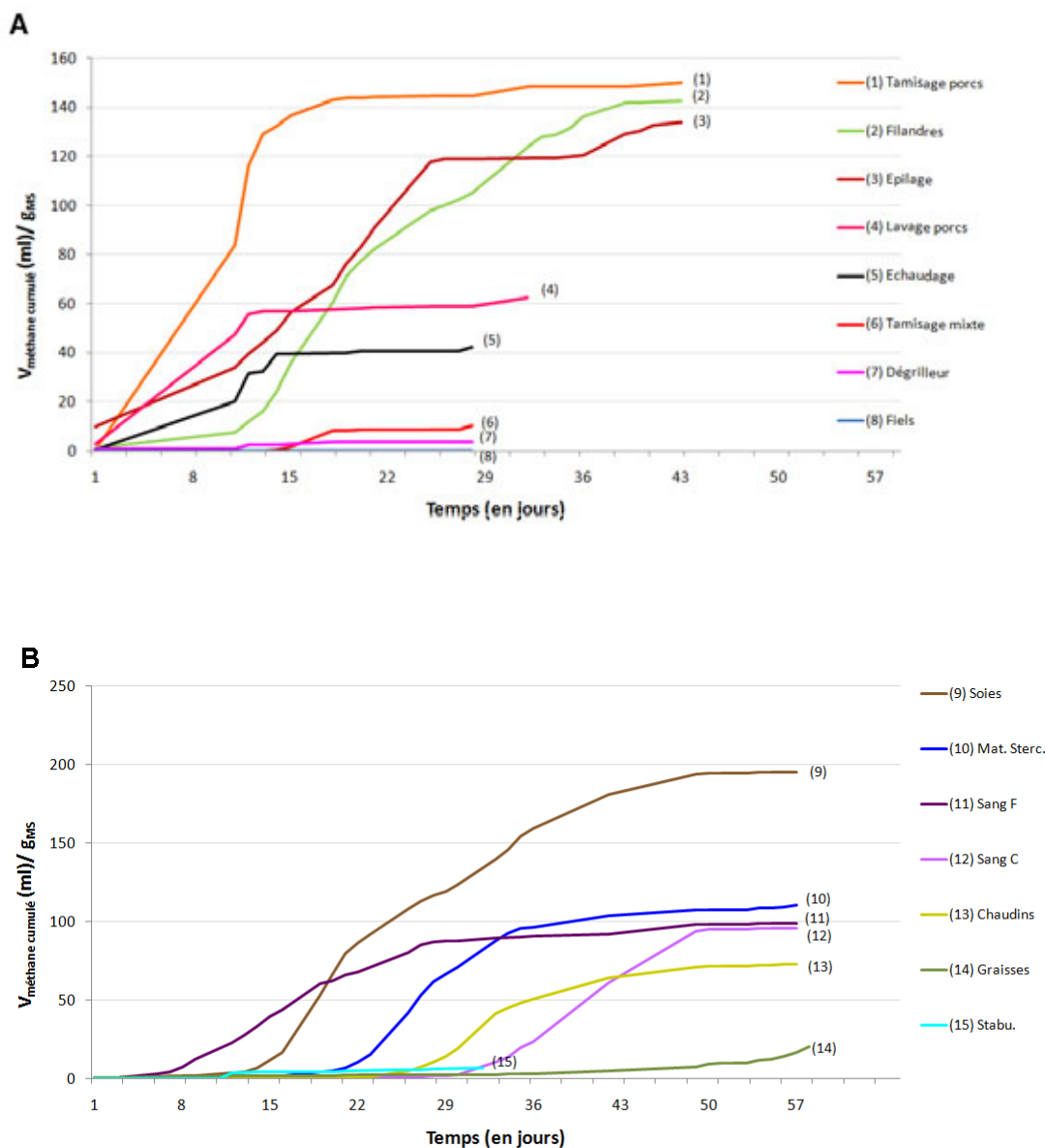
Les caractéristiques biochimiques des échantillons sont très hétérogènes. Au niveau des matières totales et particulières, certains échantillons, comme les graisses et les fiels, sont très chargés en matières sèches (MS), alors que d'autres sont moyennement chargés, comme les matières stercoraires, les chaudins et les soies. Les autres jus sont relativement peu chargés et notamment les eaux de lavage de stabulation (Tableau 2).

De la même façon, les concentrations en phosphore total et en azote Kjeldahl (NTK) sont très variables selon l'échantillon considéré. Les matières stercoraires sont très chargées en phosphore total (1308 mg P-PO₄/L) et en NTK (3080 mg N/L). Il en est de même pour les graisses et les jus d'épilage qui ont des concentrations en NTK égales à 9800 et 9240 mg N/L, respectivement.

Tableau 3 : Résultats de la caractérisation biochimique des jus d'essorage-pressage des sous-produits d'abattage

	MES (g/L)	MVS (g/L)	MS (g/L)	MV (g/L)	Ptot (mg P-PO ₄ /L)	NTK (en mgN/L)	Lipides (en mg/L)	DCO (mgO ₂ /L)	DBO ₅ (mg/L)	Rapport DBO ₅ /DCO	pH
<i>Dégrilleur</i>	0,43	0,39	6,61	1,10	89,6	602	45,25	4341	1100	0,25	7,01
<i>Echaudage</i>	0,43	0,51	1,47	1,01	152,0	770	126,25	1865	1000	0,54	7,02
<i>Matières stercoraires</i>	5,38	3,78	32,91	17,70	1308,0	3080	165,25	35360	5500	0,16	7,42
<i>Tamisage mixte</i>	0,32	0,32	6,21	0,86	99,6	238	124,25	4091	1200	0,29	7,03
<i>Graisses</i>	47,10	42,52	134,51	117,09	548,0	9800	645,00	242550	55000	0,23	6,75
<i>Lavage pores</i>	0,29	0,40	2,51	1,72	460,0	770	78,75	4405	3000	0,68	7,14
<i>Fiels</i>	12,66	13,04	100,48	90,25	332,0	6380	893,00	183550	4000	0,02	6,99
<i>Chaudins</i>	9,59	9,09	24,47	22,80	420,0	1162	108,50	15820	5200	0,33	6,37
<i>Filandres</i>	1,97	1,79	13,82	11,74	320,8	5630	247,75	24350	30000	1,23	6,59
<i>Stabulation</i>	1,75	1,49	3,65	2,50	353,6	560	75,75	4581	1000	0,22	7,26
<i>Tamisage pores</i>	1,28	1,39	3,76	2,55	230,4	728	49,00	5915	4400	0,74	6,95
<i>Epilage</i>	1,00	1,23	11,64	9,75	229,2	9240	82,00	43940	7600	0,17	7,05
<i>Soies</i>	2,34	2,34	18,01	15,09	182,4	4200	128,75	34960	nd	nd	7,14
<i>Sang Clair</i>	1,06	1,11	6,95	3,37	178,4	3080	101,00	44050	nd	nd	7,00
<i>Sang foncé</i>	1,56	1,45	15,65	7,28	450,0	7560	137,25	42975	nd	nd	6,94

Les échantillons les plus chargés en DCO sont les mêmes que ceux cités précédemment, c'est-à-dire les graisses (242550 mg O₂/L), les matières stercoraires (35360 mg O₂/L) et les fiels (183550 mg O₂/L). Plus le rapport DBO₅/DCO, qui témoigne de la capacité de l'échantillon à se dégrader, est proche de 1, plus l'effluent est biodégradable. Les fiels, dont le rapport est égal à 0,02, présentent donc une très faible biodégradabilité en comparaison avec le jus de tamisage porcs (rapport = 0,74), qui lui, semble fortement biodégradable.



Figures 2 (A et B) : Potentiels bio-méthanogènes individuels des échantillons (en $V_{\text{méthane cumulé}} \text{ (mL) / g}_{\text{MS}}$)

Le potentiel bio-méthanogène peut être exprimé de différentes manières. Au cours de cette étude, la composition du biogaz produit a été analysée pour déterminer sa teneur en méthane. Il a donc été choisi d'exprimer le potentiel bio-méthanogène de chaque jus en volume de méthane cumulé (mL) par gramme de MS (g_{MS}) introduit (Figure 2).

D'une manière globale, les courbes obtenues présentent une allure générale en trois phases, à savoir :

- Phase 1 : Faible augmentation au départ du volume de méthane produit,
- Phase 2 : Augmentation importante du volume produit,
- Phase 3 : Plateau avec atteinte du volume maximal de méthane productible.

Ces 3 phases correspondent aux différentes étapes de la méthanisation. La phase 1 a une durée plus ou moins longue selon les échantillons car la digestion est initiée plus ou moins rapidement en fonction des propriétés biochimiques de l'échantillon considéré. Le plateau final observé, témoignant de l'arrêt de la production de biogaz, indique que la digestion anaérobie est terminée.

Les échantillons qui produisent le plus de méthane par g_{MS} au cours de la digestion anaérobie sont les soies (195,5 mL/ g_{MS}), les jus de tamisage porcs (149,9 mL/ g_{MS}), les filandres (142,6 mL/ g_{MS}) et les jus d'épilage (133,6 mL/ g_{MS}). Ce sont donc ces échantillons qui présentent le meilleur potentiel bio-méthanogène. De la même façon, il est intéressant de noter que les effluents qui présentent les plus faibles potentiels bio-méthanogènes sont les eaux de lavage de stabulation (6,7 mL/ g_{MS}), le dégrilleur (3,3 mL/ g_{MS}), les jus de tamisage mixte (10,3 mL/ g_{MS}) et les fiels (0,03 mL/ g_{MS}).

3. Mesure du potentiel bio-méthanogène des mélanges représentatifs des différentes typologies d'abattoirs

Dans cette partie, le devenir des différents mélanges (Tableau 2) au cours de la digestion anaérobie est présenté. A partir de ces mélanges, deux types d'essais en laboratoire ont été réalisés :

- des tests PBM, réalisés dans les mêmes conditions que précédemment, ont été effectués à partir de chaque mélange (Figures 3 et 4),
- un essai en fermenteur a été effectué à partir du mélange « Spécialisé ruminant » (Figure 5).

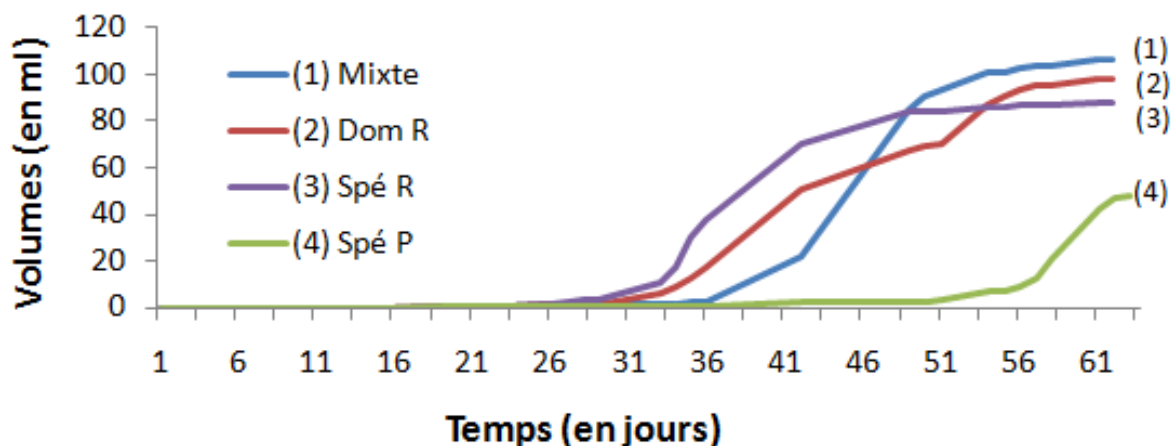


Figure 3 : Potentiels bio-méthanogènes des mélanges (en $V_{\text{méthane}}$ cumulé (mL) / g_{MS})

Les courbes obtenues sur les 4 typologies d'abattoir ont la même allure générale en 3 phases que celles obtenues pour les échantillons individuels. En revanche, la phase 1, plus marquée, indique clairement que l'initiation de la méthanisation est beaucoup plus longue. En effet, la phase de production de méthane ne débute qu'au 30ème jour pour trois mélanges sur quatre. Le mélange « Spécialisé Porc » présente un retard plus important que tous les autres mélanges.

Comme les jus ont été testés individuellement et comme les proportions de chaque jus dans les mélanges sont connues, il est possible de déterminer le comportement théorique de chaque mélange et de le comparer à la production réelle observée (Figure 4). Afin de déterminer la production de biogaz théorique des différents mélanges, les volumes de méthane produit par jour à partir de chaque échantillon composant le mélange ont été additionnés.

La comparaison des courbes théoriques et des courbes réelles (Figure 4) fait apparaître des cinétiques de la digestion anaérobie très différentes. Les résultats obtenus mettent en évidence un temps de latence plus important sur l'allure réelle des mélanges par rapport à l'allure théorique prévu, ce qui laisse supposer un phénomène d'inhibition de la méthanisation lié à la présence d'un ou de plusieurs échantillon(s) inhibiteur(s) dans le mélange.

En revanche, quel que soit le mélange considéré, on constate une « surproduction » de la quantité totale de méthane produite par rapport à la production théorique de méthane, indiquant ainsi un phénomène de synergisme entre les échantillons composant les différents mélanges.

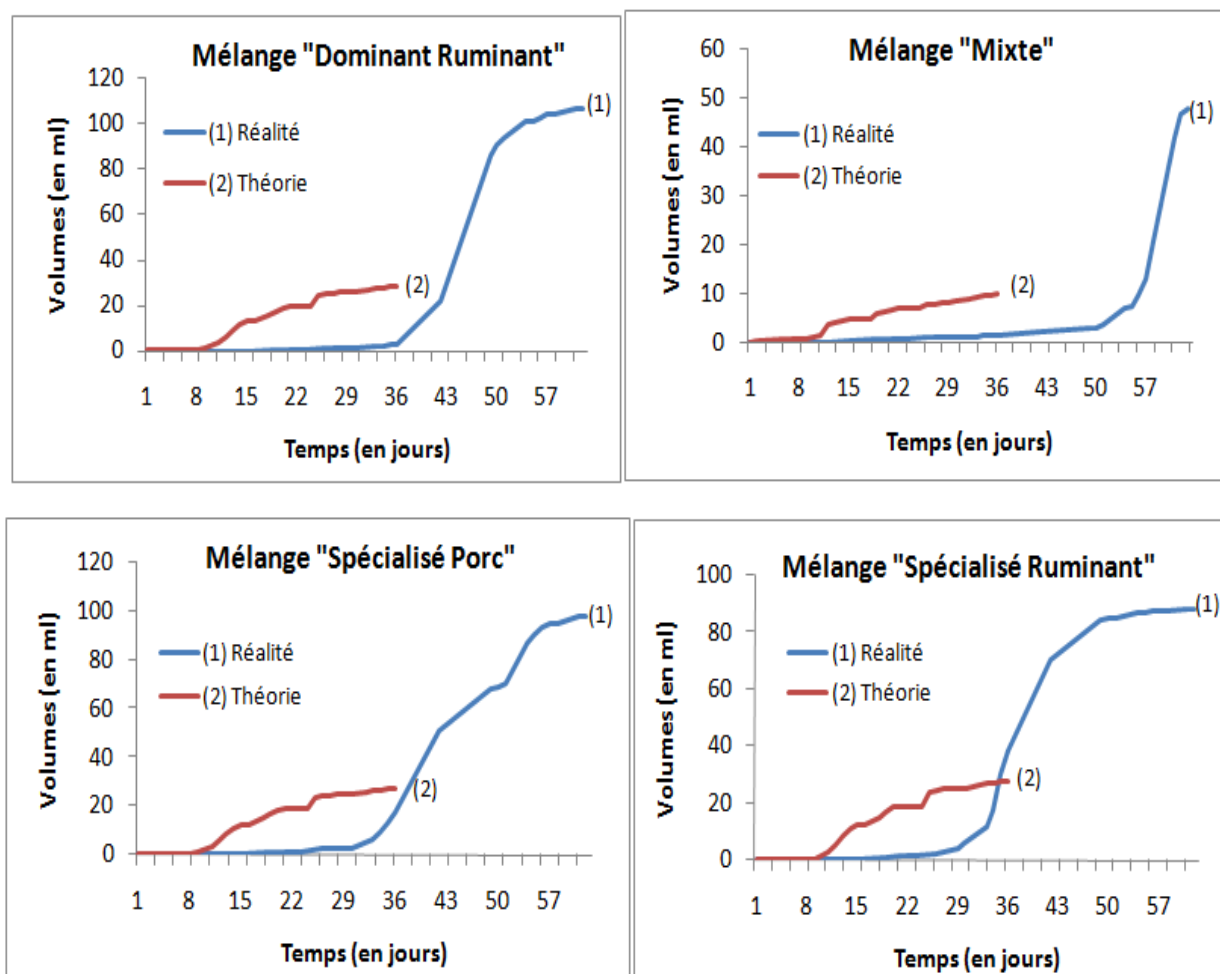


Figure 4 : Potentiels bio-méthanogènes théoriques et réels des mélanges (en Vméthane cumulé / gMS)

Il est intéressant de noter que l'échantillon, « eaux de lavage de stabulation », se retrouve dans des proportions très importantes (de 66,3 % à 88,9 %) (Tableau 2) alors que son potentiel bio-méthanogène est faible. Par ailleurs, la proportion de cet échantillon est la plus importante dans le mélange « Spécialisé Porc » dont l'inhibition est la plus marquée. Il est donc probable que l'effluent « eaux de lavage de stabulation » soit à l'origine de l'inhibition observée pour chaque mélange, probablement en raison du fait qu'il contient peut être des produits lessiviels et/ou désinfectants.

4. Essai en fermenteur

En parallèle des tests PBM, un essai en fermenteur a été réalisé sur le mélange collecté dans l'abattoir « Spécialisé Ruminant ». L'avantage d'un tel essai est principalement sa plus forte représentativité par rapport aux tests PBM car le volume d'échantillon introduit est ici 38 fois plus important que dans les tests PBM. Les résultats obtenus sont donc plus proches de la réalité d'une installation industrielle.

Sur la Figure 5 sont représentées les courbes réelles et théoriques obtenues au cours de l'essai en fermenteur pour le mélange « Spécialisé Ruminant ». La production de méthane théorique (26,50 mL/gMS) est nettement plus importante que la production de méthane réellement obtenue (1,96 mL/gMS). L'inhibition observée lors de l'initiation de la méthanisation par rapport à la production théorique de méthane, confirme les résultats observés lors des tests PBM.

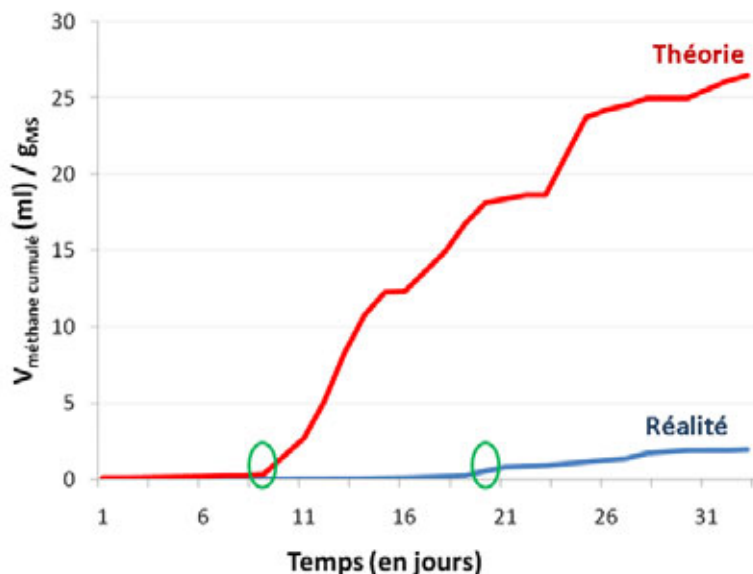


Figure 5 : Production de méthane théorique et réelle du mélange « Spécialisé Ruminant » lors de l'essai en fermenteur ($V_{\text{méthane cumulé}} \text{ (ml)} / \text{gMS}$)

Les résultats de l'essai en fermenteur (Figure 5) sont cohérents avec ceux obtenus par les tests PBM puisque la production de méthane s'accroît également à partir du 34^{ème} jour (Figure 4).

Conclusion

La méthanisation a été envisagée comme une solution durable et novatrice pour les abattoirs qui génèrent de nombreux produits fermentescibles issus de la biomasse animale. L'objectif de cette étude était donc de vérifier si la méthanisation pourrait être techniquement envisageable pour prétraiter les jus d'essorage-pressage des sous-produits d'abattage. La faisabilité technique de la digestion anaérobie sur plusieurs échantillons a donc été évaluée en laboratoire à partir de deux séries de tests : les tests PBM et un essai en fermenteur après une caractérisation biochimique complète des différents effluents.

Parmi les jus analysés individuellement, les résultats obtenus mettent en évidence un bon potentiel bio-méthanogène pour les jus de pressage des soies, les jus de compactage des refus de tamisage porcs et les jus d'épilage. En revanche, les eaux de lavage de stabulation produisent très peu de méthane cumulé par gMS introduit. Pour étudier la faisabilité de la méthanisation sur les mélanges, des tests PBM et un essai en fermenteur (mélange « Spécialisé Ruminant ») ont été suivis en parallèle. Au cours de ces différents essais, une inhibition de la production de biogaz a clairement été identifiée, ce qui a permis par ailleurs de mettre en évidence une très bonne corrélation entre les différents essais réalisés à l'échelle du laboratoire.

D'une manière générale, la méthanisation permet une bonne élimination de la matière organique et des matières sèches.

Une analyse économique doit être réalisée pour préjuger de l'intérêt de la méthanisation en vue d'éliminer des effluents produits dans les abattoirs. La compréhension et la résolution de l'inhibition observée sur certains mélanges sont aussi des éléments à mieux comprendre.

Afin d'optimiser la digestion anaérobie sur ce type d'effluent, il serait judicieux de suivre plus régulièrement les paramètres (pH, AGV, DCO soluble, DCO dégradée) pour mieux appréhender les phénomènes et réactions biologiques influençant la méthanisation. D'autre part, l'optimisation de la méthanisation des mélanges nécessiterait de redéfinir les différents types d'effluents à inclure ainsi que leur proportion. Les eaux de lavage de stabulation sont relativement peu chargées en pollution organique par rapport aux autres échantillons. Elles pourraient certainement être prétraitées séparément avec un tamisage fin par exemple.

Enfin, il serait aussi peut-être possible d'optimiser la phase limitante d'hydrolyse de la méthanisation en plaçant en amont un dispositif adapté de prétraitement des jus de type mécanique, physico-chimique ou autre ? La réponse à toutes ces interrogations doit nécessairement passer par la mise en œuvre de nouvelles études et la poursuite de nouveaux essais.

Devillers P.-H. et al. 2007. Etude des traitements de réduction de volume des co-produits animaux par filtration, essorage, pressage. Etude INTERBEV/OFIVAL

RECHERCHE DE METHODE D'EVALUATION DE L'EXPRESSION DE L'EMPREINTE CARBONE DES PRODUITS VIANDE

LAPASIN C.¹, GAC A.², SCISLOWSKI V.³, CHEVILLON P.⁴, GUARDIA S.⁵

¹Céline, 43 rue Sedaine CS 91115, 75538 Paris Cedex 11

²Institut de l'Elevage, Service Bâtiment-Environnement, Monsoisin 35652 Le Rheu Cedex

³ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, 63039 Clermont-Ferrand

⁴IFIP, La Motte au Vicomte B.P. 35104, 35651 Le Rheu Cedex

⁵ITAVI, Unité de recherche Avicoles, 37380 Nouzilly

Abstract: Research for assessment method of expression of the carbon footprint of meats

The environmental impact assessment of the agricultural activities is justifiable, but it's a subject under development; some methodological points staying debate there. So, in the framework of a French project of displaying of these impacts to the consumer, this study investigated a particular point of the method of carbon impact calculation, up to now weakly approached: the allowance of the upstream impacts between the various parts of the animal, after slaughtering. Six different animal species have been investigated. The objective analysis of the various keys of allowance led to recommend the use of the mass allowance by dry material. Other goal of the study is to determine a functional unit according to which will be represented the environmental impact to the consumer. A nutritional functional unit was built and tested on several foodstuffs. It turns out that it represents an objective alternative to the mass because it takes into account the specific function of the food.

Introduction

Comme toute activité humaine, l'agriculture marque son environnement, justifiant les actions menées sur l'évaluation de l'impact environnemental des produits alimentaires et la recherche des leviers d'action pour atténuer cet impact. Toutefois, actuellement les méthodes de calcul de cet impact et les bases de données associées ne sont pas parfaitement consolidées. Les études préalables font apparaître d'une part des valeurs d'impact variables pour un même produit selon les sources bibliographiques et d'autre part plusieurs points méthodologiques qui restent en débat. L'annonce d'un impact environnemental erroné n'est pas sans risque : pour les entreprises les conséquences sont d'ordre économique, pour les consommateurs il s'agit de désinformation. Dans ce cadre, les organisations professionnelles représentant les entreprises des filières viande se sont associées aux centres techniques français des filières animales pour traiter cette mesure d'affichage environnementale. Deux points méthodologiques spécifiques ont été investigués : 1) l'établissement d'un mode d'allocation des impacts environnementaux entre co-produits carnés (os à gélatine, matières premières pour pet food, cuir pour maroquinerie, etc.) et 2) la définition d'une unité fonctionnelle basée sur leur valeur nutritionnelle pour exprimer l'impact environnemental des produits alimentaires.

Matériels et méthodes

L'analyse du cycle de vie (ACV) d'un produit agricole est confrontée à plusieurs nœuds d'allocation des impacts amont : allocation des impacts de la production de céréale entre le grain et ses co-produits destinés à l'alimentation animale ; allocation entre le lait et la viande en élevage bovin, etc. En ce qui concerne la viande, peu d'études se sont intéressées à l'allocation des impacts entre la viande et ses co-produits animaux (os, cuir, etc.). Pourtant ces matières peuvent représenter jusqu'à 60% du poids d'un animal vif et alimentent des filières pérenne de valorisation (gélatine, maroquinerie, pet food, fertilisation, etc.). En premier lieu, l'étude a conduit à identifier et quantifier les différentes masses de coproduits générés aux stades abattage et découpe en fonction de leur destination. Huit principales voies de valorisation ont été retenues : l'alimentation humaine, la transformation des SPA C1 et C2 en farines et graisses, la transformation des SPA C3 en Protéines Animales Transformées C3 et graisse C3, la transformation des os C3 en gélatine, la transformation des graisses brutes en graisses et cretons, la tannerie-mégisserie pour les peaux fraîches et la voie de valorisation en épandage/compostage.

Dans un deuxième temps, sept modes d'allocation différents ont été comparés pour allouer les impacts entre les coproduits identifiés selon les six destinations. Il s'agit de l'allocation massique, l'allocation massique en matière sèche, l'allocation énergétique, l'allocation protéique, l'allocation basée sur la teneur en matière grasse, l'allocation basée sur une combinaison de la teneur en matière grasse et en matières protéiques ainsi que l'allocation économique.

Par ailleurs s'agissant de la représentation des impacts, selon le principe de l'ACV, les impacts environnementaux générés lors du cycle de vie d'un produit sont rapportés à la fonction spécifique de ce produit afin de tenir compte du service qu'il

apporte. Pour les produits alimentaires, dans la littérature internationale, l'impact environnemental est le plus souvent rapporté au kg de produit. Pourtant, de même qu'un litre d'essence n'est qualitativement pas équivalent à 1 litre de diesel jugé en terme de pouvoir calorifique, 1 kg de viande n'est pas similaire à 1 kg de légume en terme d'énergie et de nutriments apportés à l'Homme. L'analyse fonctionnelle des produits alimentaires nous amène à définir l'unité fonctionnelle comme étant « *l'unité de mesure de la capacité d'un aliment à fournir chez l'homme de l'énergie tout en couvrant les besoins en nutriments de l'organisme* ».

La construction d'une Unité Fonctionnelle Nutritionnelle (UFN) doit suivre plusieurs étapes : définition du type de modèle d'unité (transversal à l'ensemble des produits alimentaires ou spécifique à une catégorie alimentaire) ; choix des descripteurs nutritionnels à prendre en compte ; détermination des bases de référence pour les calculs ; détermination des formules de calcul et validation de la méthodologie retenue. 15 formules d'UFN ont été construites en intégrant des nutriments dont les apports doivent être augmentés selon les recommandations nutritionnelles pour l'Homme et des nutriments dont l'apport doit être limité, et selon deux approches de calcul : le système SAIN/LIM (AFSSA) et le système NUTRIMAP (Bio Intelligence Service). Différentes étapes supplémentaires ont été ajoutées à la méthodologie afin d'obtenir un score unique par aliment.

Dans le cadre de nos travaux, l'expression de l'impact environnemental par ces UFN (en substitution à l'unité massique) ont été calculées sur 22 produits alimentaires en prenant comme valeur carbone de référence celle qui figurait dans la méthodologie Bilan Carbone (V6) développée par l'ADEME (il sera très facile par la suite de substituer à ces valeurs des valeurs consolidées).

Résultats et Discussion

Les résultats montrent que, selon le type d'allocation produit/co-produit choisi, des écarts parfois importants de valeurs d'impact entre les différents coproduits et les denrées alimentaires sont constatés. Dans la filière de transformation des viandes tous les co-produits générés trouvent une destination de valorisation en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques. En effet, les coproduits sont recherchés dans les différentes voies de valorisation, globalement soit pour leur valeur protéique (alimentation humaine et petfood) ou leur valeur en matière grasse (fabrication de gélatine, graisses, combustion).

Ce constat plaide pour le choix d'un mode d'allocation physique d'autant que l'absence de bourse d'échange pour tous les sous-produits bruts rend difficilement utilisable l'allocation économique. Plus précisément, les résultats nous amènent à **préconiser l'usage de l'allocation sur la matière sèche** pour allouer les impacts carbone de la filière aux différents coproduits carnés générés. Ce mode d'allocation présente en effet plusieurs avantages : Il est pertinent pour l'ensemble des coproduits, car il traduit leurs caractéristiques propres, quelle que soit leur destination ; il combine plusieurs des caractéristiques physico-chimiques d'intérêt (en particulier lipides et protéines) ; Il présente une facilité de mise en œuvre grâce à une bonne disponibilité des données, son application est donc généralisable dans différentes filières et pour différentes espèces en limitant le temps de collecte des données nécessaires à l'établissement des clés d'allocation.

S'agissant de l'UFN, les réflexions et résultats graphiques montrent dans quelle mesure le changement d'unité peut modifier la valeur de l'impact d'un produit. Il apparaît donc important d'utiliser une unité fonctionnelle nutritionnelle pour les produits alimentaires notamment dans le cadre d'un affichage environnemental destiné aux consommateurs. Ces derniers pourront ainsi juger, comparer et choisir leurs produits de manière scientifiquement fiable. Les réflexions et résultats graphiques montrent l'incidence du changement d'unité sur la représentation de l'impact d'un produit. C'est pourquoi pour les produits alimentaires, il apparaît important d'utiliser une unité fonctionnelle nutritionnelle et non massique, notamment dans le cadre d'un affichage des impacts environnementaux.

La réflexion doit être poursuivie pour identifier dans le cas de la construction d'une unité transversale à plusieurs produits, quelle méthode de calcul d'UFN considère le mieux les atouts et défauts nutritionnels de l'ensemble des produits alimentaires. Dans le cas d'une UFN par catégorie d'aliment, l'objectif sera d'établir la catégorisation des produits la plus pertinente à mener d'un point de vue nutritionnel.

Conclusions

Dans cette étude ont été investigués d'une part un point de la méthode de calcul de l'impact carbone ; l'allocation produits/coproduits et d'autre part la représentation de cet impact au consommateur via l'UFN. L'analyse objective des clés d'allocation des impacts amont entre les différentes parties animales a conduit à préconiser l'utilisation de l'allocation massique par matière sèche. Quant à l'UFN définie comme étant « *l'unité de mesure de la capacité d'un aliment à fournir chez l'homme de l'énergie tout en couvrant les besoins en nutriments de l'organisme* » elle s'avère être une alternative objective à la masse car elle tient compte de la fonction spécifique de l'aliment. Ces travaux sont destinés à servir de base de réflexion aux différents acteurs de la filière et à être approfondis.

Cette étude a été conduite avec le soutien financier de France Agrimer.

VALORISATION DES SOUS PRODUITS DE L'INDUSTRIE DE TRANSFORMATION DU THON

AMALOU D.¹, KEMMICHE M.¹

¹Faculté agrovétérinaire université de BLIDA ALGERIE

Abstract : Valorization of by-product of tuna industry

Our research project was focused on the use of by-product of tuna for canning dogs and cat's food. It interests on the valorization of waste generated by the production of canned tuna. This was done by the fabrication of four formulations containing 0%; 25%; 50% and 75% waste of tuna. The results obtained showed that all formulations presented good food quality. Canning is characterized by its high content of animal proteins (17.45%) and 8.31% of fat with a high content of polyunsaturated fatty acids (Palmitoleic, Arachidonic, EPA, DHA). The formulation with 50% and 75% tuna waste were considered as best ones their food value and their high energy values.

Introduction

Le thon est l'une des espèces marines les plus importantes économiquement, la production mondiale est d'environ 5 millions de tonnes commercialisée sous forme frais, congelée et en conserve (HOANG, 2009). Cette dernière est la forme commerciale majoritaire, elle représente 70% du volume total du thon capturé (ANONYME, 2005). Cette forte transformation génère de grandes quantités de déchets ou de sous produits, estimés à plus de 50% du poids du poisson soumis à la transformation (JE et al, 2007), à l'origine des problèmes de contamination et de pollution de l'environnement. La valorisation de ces sous produits est une problématique d'actualité, elle permet de compenser certaines charges de la conserverie, liées aux traitements, à l'enlèvement et au transport de ces déchets d'une part, et d'autre part, à les considérer comme une nouvelle source de matière première pour d'autres industries (alimentation animale, parapharmacie, cosmétique) par leur richesse en de nombreuses molécules et substances bio actives possédant des propriétés très bénéfiques pour la santé humaine et animale (DUMAY, 2004 ; SHAHIDI, 2006). L'objet de cette étude est d'apprécier l'aptitude d'une unité de production de thon à la production in situ de conserves pour chiens et chats.

Matériel et méthodes

Les sous produits utilisés par notre expérimentation appartiennent à l'espèce PELAMIDE Katsuwonus Pelamis pêchée dans la zone FAO 34 proche des côtes Mauritanienues dans l'océan atlantique. Ces déchets représentés par les parties non comestibles ont été récupérés en mars 2012 auprès de la conserverie GOURAYA GOLFE sise à BEJAIA ALGERIE. A partir de résidus en stockage à -18°C, un échantillon de 25 Kg a été constitué, il est composé de tête, de queue, de peau, d'arêtes, de nageoires, de viscères, de poudre de découpage, de graisses et d'eau. Ces sous-produits sont soumis d'abord à des traitements préliminaires avant leur transformation en conserve pour chiens et chats. Quatre formulations ont été préparées, contenant des teneurs de 0% ; 25% ; 50% et 75% de déchet de thon. La conserve pour chiens et chats a été fabriquée au niveau de la conserverie Gouraya-Bejaïa, sous forme d'une farce conditionnée dans des boîtes métalliques de type ½ (370g).

La détermination de la teneur en humidité, du taux de cendres, de la teneur en sucres, de la teneur en protéines, des lipides et surtout du profil en acides gras de la fraction lipidique par chromatographie en phase gazeuse a été réalisée au niveau d'un laboratoire public d'analyse et de contrôle de qualité des produits alimentaires. Le logiciel SYSTAT 13 a été utilisé pour le traitement statistique des résultats.

Tableau 1 : composition en acides gras des 04 formulations, exprimée en% de lipides

Acides gras	Formulation 0%	Formulation 25%	Formulation 50%	Formulation 75%
Myristique	---	1.45	1.00	0.87
Palmitoléique	---	2.20	3.30	4.06
Palmitique	26.48	16.66	16.20	10.01
Linoléique	69.45	61.20	61.70	62.32
EPA	1.96	9.25	8.53	10.04
Arachidonique	---	4.35	6.40	7.52
DHA	---	2.63	2.80	3.16

Résultats et Discussion

Les résultats de l'évaluation de la valeur nutritionnelle et de la qualité de la conserve fabriquée sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau 2: Résultats des analyses biochimiques

Nutriment	Formulation	Moyenne ET	F-Ratio	Probabilité	ET-Résiduel
Humidité %	1	79.66 ± 0.30	813.08	0.000	0.036
	2	76.85 ± 0.50			
	3	72.48 ± 0.38			
	4	66.29 ± 0.13			
Cendres %	1	2.02 ± 0.05	67.621	0.000	0.013
	2	1.90 ± 0.10			
	3	2.39 ± 0.18			
	4	3.11 ± 0.09			
Glucides%	1	13.57 ± 0.23	1323.459	0.000	0.047
	2	6.01 ± 0.09			
	3	4.42 ± 0.23			
	4	3.65 ± 0.11			
Protéines%	1	1.84 ± 0.22	10108.112	0.000	0.016
	2	13.27 ± 0.12			
	3	17.40 ± 0.03			
	4	17.45 ± 0.00			
Lipides%	1	3.58 ± 0.36	185.484	0.000	0.068
	2	4.52 ± 0.09			
	3	5.12 ± 0.03			
	4	6.31 ± 0.20			
Energie calories	1	93.85 ± 0.01	1257.470	0.000	2.885
	2	115.18 ± 0.37			
	3	151.89 ± 2.61			
	4	170.59 ± 1.07			

Conclusions

Les résultats de cette étude ont confirmé l'aptitude d'une unité de transformation du thon à valoriser les sous produits générés lors de son activité en fabricant in situ des conserves pour chiens et chats. Au cours de cette étude, nous avons remarqué que la valeur alimentaire est étroitement liée à l'apport en sous-produits. Ainsi la teneur en protéines et en lipides est plus élevée lorsque la quantité de sous produits ajoutés est plus importante, elle est respectivement de 17 et de 8g par 100g de produits frais. De plus, la fraction lipidique de cette préparation est caractérisée par la présence d'acides gras insaturés (EPA, DHA) nutritionnellement bénéfiques pour la santé des animaux, sans négliger la présence des autres nutriments et oligoéléments apportés par le riz, la carotte et la poudre d'œuf. Cependant, avant de procéder à la commercialisation de cette conserve, il est utile de poursuivre cette étude en réalisant un test de vieillissement de la conserve nécessaire à l'évaluation de la stabilité et la détermination de la date limite de commercialisation et de consommation, et la conduite d'un test d'appétence in vivo pour apprécier la digestibilité et le comportement des animaux vis-à-vis de la conserve aux sous-produits de thon.

Anonyme, 2005. La filière thonière européenne. Bilan économique, perspectives et analyses des impacts de la libéralisation des échanges. Convention spécifique Sc 12, rapport final 321p.

Colin M. 2000. L'alimentation du chien et du chat, guide pratique ASV : point vétérinaire 152p.

Dennes A. 2006. Etude comparée de l'effet de deux protéases sur la production d'hydrolysats dotés d'activités anti oxydantes et anti radicalaires. Mémoire Ecole des hautes études 45p.

Dinnarello C.A et Endre S. 1990. Anorexia and diet any fatty acide interleukin-1 p 587 : 332-338.

Hoang T. 2009. Ocean tuna fishing and marketing in vietnam, vietfish,6(1) : 56-59.

Hoskins JD. 1988. Nutritional disturbances of the aging dog and cat. In Morgan. RV ed Small animal practice. New york livingstone.

Josuweit H. 2005. Global world tuna markets. Infotish/CFC. Seminar on tuna marketing. Maldives, May 2005. FAO. ROME.

Kang JX. et Leaf A. 2000. Prevention of fatal cardiac arrhythmias by polyunsaturated fatty acids. J. Nutr, 71 :202S – 207S.

Lewis LD. Et Morris JR. 1987. Alimentation clinique des petits animaux. 3^eEd. Topeka : Mark Morris Associates.

Shahidi F. 2006. Maximising the value of marine by-product. Memorial university of New Foundland, Canada, 560p.

Wolter R. 1988. Dietetique du chien et du chat. Ed Masson Paris. France.



Session

Maîtrise de l'Hygiène et Sécurité Sanitaire



LA FILIERE BOVINE FRANCAISE FACE AUX *ESCHERICHIA COLI* ENTEROHEMORRAGIQUES (EHEC) : PLAN DE MAITRISE EN 2012 ET ORIENTATION DES RECHERCHES

CARTIER P.¹, BIBBAL D.², LOUKIADIS E.³, GAY E.⁴, AUVRAY F.⁵, BRUGERE H.²

⁽¹⁾ Institut de l'élevage, Route d'Epinay, 14310 Villers Bocage et Esix Normandie, Département Agro-alimentaire, Esplanade de la Paix, 14032 Caen

⁽²⁾ Inserm UMR1043, Inra USC 1360, INP-ENVT, 23 chemin des Capelles, 31076 Toulouse.

⁽³⁾ Université de Lyon, VetAgro Sup, LMAP- (LNR *E. coli* y compris STEC), 1 avenue Bourgelat, 69280 Marcy-l'Etoile

⁽⁴⁾ Anses, Laboratoire de Lyon, 31 avenue Tony Garnier, 69364 Lyon.

⁽⁵⁾ Anses, Laboratoire de Sécurité des Aliments, 23 avenue du général de Gaulle, 94706 Maisons-Alfort.

Abstract : Pre and post-harvest interventions on ground meat production in France to reduce/eliminate EHEC

Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) is an important cause of food-illness. The primary reservoir for this organism is cattle. Human infection can result from consumption of undercooked ground beef. Commonly responsible of foodborne infections in USA, EHEC have caused only 3 epidemic episodes in France since 2005, with ground meat. The whole meat production chain agreed on the necessity to apply good hygienic practice in order to control meat EHEC contamination. This article reviews pre and post-harvest interventions to reduce/eliminate EHEC on ground meat production in France. During the last years post-harvest interventions have continually improved greatly and several pre-harvest interventions show substantial promise.

Introduction

Les *E. coli* entérohémorragiques (EHEC) représentent un danger majeur en terme de santé publique étant donné la gravité des symptômes qu'ils engendrent. L'infection par les EHEC peut se traduire par une diarrhée devenant hémorragique dans 90 % des cas. Chez 10 % des sujets atteints elle se complique d'un syndrome hémolytique et urémique (SHU), tout particulièrement chez les jeunes enfants, ou d'un purpura thrombotique thrombocytopénique (PTT). Ces affections sont caractérisées par une insuffisance rénale aiguë, une thrombocytopénie, et une anémie microangiopathique. Leur traitement reste symptomatique. Le taux de mortalité associé au SHU, élevé lors des premières descriptions (50 % en 1993), est actuellement évalué en Europe entre 1 et 6 %. En France, une centaine de cas de SHU chez les enfants de moins de 15 ans est recensée en moyenne chaque année depuis 1993, mais il faut noter que 162 cas ont été identifiés en 2011.

Le principal réservoir des EHEC est le tube digestif des bovins, chez lesquels ils font l'objet d'un portage asymptomatique (Brugère *et al.*, 2012). La principale voie de contamination de l'homme est la consommation d'aliments contaminés par des fèces de bovins (notamment le steak haché). En France, les données de surveillance du SHU chez les enfants de moins de 15 ans montrent que la majorité de la centaine de cas annuels est sporadique (King *et al.*, 2009). Néanmoins, quatre épidémies communautaires sont survenues. L'origine alimentaire a pu être clairement établie: steak haché congelé (2005 et 2011), steak haché frais (2012) fromage au lait cru (2005) et graines germées de fenu grec (2011). Les données de surveillance montrent également que le sérotype O157:H7 est prédominant. Cependant, pour la période 1996-2009, des EHEC de sérotype non O157 ont été à l'origine de 23% des cas de SHU.

A l'échelle nationale, différents avis de l'Anses, dont ceux des 10/12/2010 et 11/01/2011, constituent des sources essentielles et récentes d'informations scientifiques et pratiques. Parallèlement de nombreux programmes de recherches fondamentales et/ou appliquées sont en cours de réalisation (ou en projet) vis à vis des différents axes préalablement définis. Les opérateurs quant à eux, tout en participant activement à ces travaux, ont revu leur plans de maîtrise sanitaire (PMS) en intégrant le danger que représentent les EHEC.

L'objet du présent document est de parcourir la filière viandes bovines, en évoquant succinctement, à chacune de ses différentes étapes, l'état des connaissances vis à vis du danger que représentent les EHEC, les principales options de maîtrise mises en place par les opérateurs depuis une dizaine d'années, sur la base des acquis des travaux de recherches appliquées et/ou plus fondamentales. En outre, un certain nombre d'investigations en cours seront également évoquées. Au préalable et afin d'éviter toute confusion, nous avons jugé souhaitable de rappeler quelques éléments relatifs à la complexité des EHEC, à partir des données publiées par l'Anses dans ces différents avis.

Complexité des EHEC : définition des « EHEC typiques majeurs », problèmes liés à leur détection et à leur numération, relation dose-effet.

Les *E. coli* producteurs de Shigatoxines (STEC) présentent une grande diversité et une forte prévalence chez les animaux, et les bovins en particulier où ils sont souvent l'objet d'un portage asymptomatique, sous des formes qui ne sont pas toujours dangereuses pour l'homme. La recherche des souches à risque de STEC est donc délicate en raison de l'absence de marqueur unique définissant sans ambiguïté la réalité du danger pathogène. Les STEC responsables d'infections humaines graves sont dénommés *E. coli* entérohémorragiques (EHEC). Ces derniers sont considérés à l'heure actuelle comme des pathogènes émergents en santé publique et dériveraient des souches commensales par acquisitions successives de facteurs de virulence. Ils appartiennent majoritairement à 5 sérotypes : O157:H7, O26:H11, O103:H2, O111:H8 et O145:H28.

La grande diversité des STEC et le fait que la définition des souches pathogènes présente un caractère temporaire (réactualisable, si nécessaire, au regard des nouvelles observations cliniques ou des données épidémiologiques) constituent 2 éléments qui contribuent à l'extrême complexité de ce danger, et par suite, aux travaux de recherche nécessaires à sa compréhension et à sa maîtrise. Il convient également de prendre en compte la complexité analytique de mise en évidence des EHEC dans différentes matrices en particulier pour les sérotypes autres que le sérotype O157:H7 et le fait qu'il n'existe pas à ce jour de méthodes de numération facilement accessibles. Enfin, contrairement aux autres bactéries pathogènes, une quantité très faible d'EHEC est susceptible d'altérer la santé du consommateur. Ainsi, lors de l'épidémie française de 2005 mettant en cause des viandes hachées, la concentration de *E. coli* O157:H7 a été estimée aux environs de 4 à 6 unités formant colonies (ufc) par gramme de viande.

L'élevage: le maillon de la filière pour le lequel le potentiel de maîtrise reste théoriquement considérable, mais sur lequel trop d'inconnues demeurent, si ce n'est le peu d'efficacité des schémas traditionnels de maîtrise des agents pathogènes.

En matière d'élaboration de produits carnés, il est n établi que les bactéries sont introduites dans la chaîne de transformation par les animaux eux-mêmes qui les véhiculent dans leur tube digestif (matières fécales) et sur leur peau, éléments qui constituent ensuite les principales sources de contamination des carcasses au moment de l'abattage. C'est pourquoi, les éleveurs, au travers du respect d'un ensemble de bonnes pratiques d'élevage, contribuent à la sécurité des denrées issues de leur production. S'agissant de l'élevage bovin, ces bonnes pratiques sont consignées dans un guide (GBPH), validé par les autorités depuis 2011. Pour bons nombres d'agents pathogènes, les mesures réglementaires en place associées au respect des bonnes pratiques d'élevage confèrent à l'éleveur un poids déterminant en matière de maîtrise, voire d'éradication, de certains agents pathogènes.

S'agissant des STEC pathogènes, les possibilités d'action au stade de l'élevage, bien que non négligeables, restent, à l'heure actuelle, limitées. Des nombreux travaux conduits depuis 20 ans (notamment aux Etats-Unis), on retiendra que la circulation des souches d'EHEC au sein d'un élevage donné, la caractérisation du portage (d'un point de vue quantitatif et qualitatif), sa persistance et son évolution dans le temps¹, présentent encore de nombreuses zones d'ombre. L'hypothèse selon laquelle, ces germes puissent être détectés ponctuellement dans n'importe quel élevage – y compris dans ceux qui respectent scrupuleusement les bonnes pratiques – n'est pas à exclure ; cette contamination concernant aléatoirement les animaux et/ou leurs environnements (stabilisation, litières, eau, aliments...). Dans la suite de ce document, et dans une optique « viande », nous nous focaliserons sur la présence de STEC pathogènes dans le cheptel (portage fécal et contamination des cuirs).

Concernant la présence d'EHEC dans les matières fécales du cheptel français, une étude portant sur plus de 1 300 bovins (Bibbal *et al.*, 2012) a récemment été conduite. Avant cette dernière, les données françaises relatives au portage des EHEC étaient limitées au sérotype O157:H7. Dans l'étude en question, la prévalence des « 5 EHEC typiques majeurs » (i.e. O157:H7, O26:H11, O103:H2, O111:H8 et O145:H28) a été estimée dans les fèces des animaux, et ce pour chacune des 4 principales catégories de bovins : jeunes bovins de race laitière (JBL), jeunes bovins de race à viande (JBV), vaches laitières (VL) et vaches à viande (VV). trente trois souches d'EHEC ont été isolées, dont 18 de sérotype O157:H7. La prévalence des souches EHEC (cinq sérotypes confondus) a été estimée à 4,5% chez les JBL et s'avère être significativement différente de celles des autres catégories (2,4% chez les JBV, 1,8% chez les VL et 1,0% chez les VV) (Fig. 1). En accord avec ces résultats², différentes études ont montré que la présence des souches d'EHEC semble plus fréquente chez les jeunes animaux (Blanco *et al.*, 1997 ; Ezawa *et al.*, 2004), peut-être par suite d'une sensibilité accrue à la colonisation de leur système digestif par ces souches (Hancock *et al.*, 1998). En ce qui concerne l'effet du type de production, plusieurs études tendent également à montrer que les bovins de type laitier semblent plus fréquemment porteurs de souches d'EHEC comparativement aux bovins de type allaitant (Hussein et Sakuma, 2005 ; Hussein, 2007 ; Cobbaut *et al.*, 2009). Cependant, l'identification et la hiérarchisation des facteurs et/ou pratiques d'élevage (régime alimentaire, conditions d'élevage...) susceptibles de conditionner la présence de souches d'EHEC

¹ Bons nombres de travaux s'accordent cependant sur le fait que le portage est optimal pendant la période estivale.

² Des résultats évoqués ci-dessus, il convient également de souligner que les prévalences constatées en France sont cohérentes avec celles observées dans d'autres pays européens (de 0 à 16 % de porteurs d' *E. coli* O157, mais avec des effectifs, des types d'animaux et, comme cela a été souligné, des méthodes variables selon les études, (voir Anses, 2010, 2011). Ces prévalences semblent, en tout état de cause nettement inférieures à celles relevées outre-Atlantique

dans les troupeaux demeurent, à ce jour, très obscures et/ou controversées, malgré la multitude de travaux réalisés jusqu'alors (voir par exemple Ferens et Hovde, 2011). La disparité des approches mises en œuvre (tant sur le plan analytique que sur les protocoles d'enquête) constitue très fréquemment un frein au rapprochement des résultats de différentes études. La poursuite de ces recherches, en permettant l'identification d'éventuels facteurs de risque, présente, à l'évidence, un enjeu considérable en matière d'options de maîtrise.

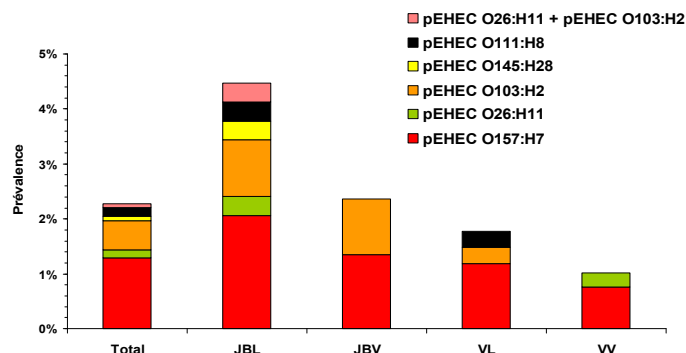


Figure 1 : Données relatives à la prévalence de portage de souches d'EHEC par le cheptel français (Bibbal *et al.*, 2012).
(a : $p < 0,05$ pour l'ensemble des 5 sérotypes recherchés ; b : $p < 0,01$ pour le sérotype O157:H7).

Pour ce qui est **des cuirs de bovins**, les quelques données disponibles (vis à vis de *E. coli* O157:H7) montrent que les prévalences observées sont plus élevées que celles évoquées précédemment dans les fèces. Selon les études publiées sur des animaux élevés en Europe, de 7% (étude irlandaise) à 55% (étude écossaise) des animaux pourraient héberger des STEC sur leurs cuirs. En France, une étude réalisée en 2004 sur 175 bovins témoigne d'une prévalence de 6.9 % (Andral *et al.*, 2004). On conçoit aisément qu'un bovin dont les fèces sont contaminées transmettra cette contamination, non seulement à son pelage, mais aussi à ses congénères.

De façon plus générale, de l'élevage jusqu'à l'ablation finale du cuir au poste d'arrachage, la probabilité qu'un cuir de bovin soit contaminé par suite de contacts directs ou indirects avec un animal porteur de souches d'EHEC est réelle et justifie, en partie, la mise en place d'un ensemble de mesures de maîtrise. Parmi celles-ci figure la prise en compte de la propreté visuelle des animaux.

Concernant spécifiquement le maillon qui nous préoccupe ici, à savoir l'amont de la filière, les opérateurs français se sont dotés depuis 2006 d'une grille interprofessionnelle d'évaluation de l'état de propreté des bovins, basée sur la prise en compte des souillures visibles en provenance de l'élevage. Cette notation, aujourd'hui systématique, est faite en 4 classes (A : Animal propre à D : Animal très sale) (Fig. 2). Depuis la mise en place de ce système, le pourcentage d'animaux classés D a chuté de 3 à environ 0.1%. Ce résultat est le fruit des efforts consentis par les acteurs concernés et d'un travail conséquent en matière de sensibilisation et de formation. En outre, depuis 2008, les animaux qui à l'arrivée à l'abattoir sont classés D font l'objet d'une pénalisation financière. En parallèle des mesures spécifiques leur seront appliquées au stade de l'abattage (*cf. ci-après*).



Figure 2 : Principe de la notation de l'état de propreté des bovins en France, selon une grille interprofessionnelle, reconnue par les autorités

Au delà de la maîtrise de l'état de propreté des animaux livrés aux abatteurs, des actions susceptibles de réduire le portage des EHEC par les animaux sont travaillées, mais, à notre connaissance, ne sont pas encore opérationnelles dans l'hexagone ; il s'agit notamment de la vaccination, de l'administration orale de plusieurs bactériophages rajoutés dans l'eau consommée par les animaux et de l'ajout de substances ou bactéries présentant un effet inhibiteur des flores pathogènes dans la ration des animaux (probiotiques, prébiotiques, huiles essentielles, par exemple). La piste de la biopréservation, séduisante sur le principe, est celle sur laquelle les plus gros espoirs semblent permis. Elle fait l'objet de beaucoup de recherches (y compris en France) ; les probiotiques en impactant l'équilibre de la flore digestive des bovins pourraient permettre le contrôle du portage des *E. coli* pathogènes. Plus généralement, une intervention sur la composition de la ration reste une voie privilégiée dans l'optique d'agir efficacement sur le portage des EHEC par les bovins. Sur ce plan, au stade de l'élevage, et pour les bovins dont l'abattage est planifié, la notion de « préparation des animaux » est parfois évoquée³.

Le transport et le regroupement des animaux dans les bouvieries d'abattoirs : des opérations propices aux contaminations croisées.

Plusieurs études témoignent d'une augmentation de la prévalence des STEC sur le cuir des animaux suite aux opérations de transport et d'attente en bouvierie. Si l'on conçoit bien que la propagation des contaminations puisse être proportionnelle aux possibilités de contacts (directs ou indirects) entre animaux, les opérateurs restent relativement démunis en matière d'options de maîtrise. Le nettoyage et la désinfection des camions, des quais de réception et de la bouvierie, le stockage des animaux en logette individuelle plutôt qu'en parc collectif, l'isolement des animaux particulièrement sales restent 3 options de maîtrise essentielles.

En outre, suite au transport et à l'attente en bouvierie, les abatteurs se trouvent confrontés à une difficulté supplémentaire, à savoir la gestion des « souillures fraîches », acquises après le chargement des animaux à la ferme. Les fèces récemment déposées sur le cuir des bovins (appelées « souillures humides » dans le langage professionnel) présentent une forte transmissibilité et sont prises en compte – sous forme d'une notation – par bon nombre d'abattoirs (sans que cette note fasse, à ce jour, l'objet d'un accord entre les différentes familles professionnelles concernées).

La question du nettoyage des animaux vivants est souvent évoquée, notamment vis à vis des « souillures fraîches ». Cette question n'est pas nouvelle. Ainsi dès 1939, des chercheurs australiens montraient qu'il était possible de réduire considérablement le niveau de contamination des cuirs de bovins par un lavage à l'eau sous pression, à la condition toutefois que les cuirs soient ensuite séchés. En outre, ce travail n'évoque pas les conséquences du traitement en matière de bien-être animal et de qualité de viandes (stress et souffrance des animaux étant inconcevables et entraînant des viandes à caractère DFD). Aujourd'hui, quelques rares abattoirs prétendent procéder à un lavage « doux » des bovins sales, en bouvierie. Si cette pratique (seule ou en combinaison avec d'autres approches façon brossage) mérite sans doute d'être examinée, le traitement des cuirs après la mort de l'animal est manifestement plus prometteur ; de telles approches sont d'ailleurs d'ores et déjà opérationnelles dans certains abattoirs (cf. ci-après).

Sur les chaînes d'abattage : l'impérieuse nécessité de maîtriser l'hygiène de la dépouille et de l'éviscération.

Les opérations de dépouille et d'éviscération sont unanimement reconnues pour être particulièrement à risque, sur le plan de l'hygiène des carcasses. C'est pourquoi les abatteurs ont toujours eu recours à des options de maîtrise sur ces 2 étapes clef. Toutefois, la majorité de ces mesures préventives s'avèrent être des Bonnes Pratiques (ou des PRPo, tel que décrit dans la norme ISO 22000) et aucune d'entre elles n'est véritablement dédiée exclusivement au danger STEC. Suite à l'épidémie française de 2005 mettant en cause des viandes hachées, l'effort des abatteurs a donc, avant tout, porté sur le renforcement des mesures déjà en place, afin d'assurer leur strict respect. En d'autres termes, les plans d'hygiène et d'application des principes HACCP des opérateurs, ont été revus, complétés si nécessaire et surtout améliorés pour la gestion des non conformités (carcasses « à problème ») et de la vérification de leur efficacité (sur la base d'audits, de la rationalisation des procédures d'autocontrôle...).

La dépouille des gros bovins est constituée d'une succession d'opérations manuelles propices à la contamination superficielle des carcasses, initialement stériles. Seule l'ablation finale du cuir (au poste de l'arracheur) est automatisée, bien qu'elle doive cependant être assistée par 2 opérateurs.

Toutes ces opérations sont potentiellement contaminantes, si les opérateurs ne respectent pas les bonnes pratiques d'hygiène consignées dans le Guide de Bonnes Pratiques élaboré par les familles professionnelles du secteur concerné (Fig. 3). Ces bonnes pratiques incluent, entre autre, la spécialisation des mains et des outils, le recours au nettoyage et à la désinfection des outils et des mains, une pratique de la dépouille assurant une retombée du cuir sur les parties non dépouillées, une distance suffisante entre les postes et une progression régulière des carcasses d'un poste à un autre, une évacuation régulière – et si possible en continu – des pattes, cornes... Depuis 2005, l'hygiène de la dépouille s'est considérablement accrue dans la majorité des abattoirs, au travers du renforcement des mesures décrites précédemment.

En outre, ces dernières années 2 mesures complémentaires sont mises en œuvre dans certains abattoirs. La première consiste à limiter, autant que faire ce peut, les opérations de dépouille en amont de l'arracheur. Cette tendance (parfois

³ Il s'agirait de mettre en œuvre un ensemble de mesures susceptibles d'avoir un impact positif en réduisant le portage et l'excrétion, sur la consistance des fèces (et par suite sur leur transmissibilité) ou sur la propreté des animaux.

nommée « technique de la chaussette ») nécessite une redéfinition précise du travail à chaque poste ainsi qu'un arracheur de cuir adapté. Elle permet une réduction significative de la contamination des carcasses, notamment des quartiers avants (matière 1^{ère} majoritaire en fabrication de viandes hachées). La seconde mesure consiste à traiter, en tout début de chaîne, tout ou partie des cuirs souillés, une fois l'animal mort (soit entre le poste de saignée et le début de la dépouille). Les méthodes de réduction de la charge bactérienne des cuirs de bovins (morts) ont été travaillées aux USA depuis les années 1990 – 1995. L'approche des chercheurs a surtout consisté à évaluer l'effet d'un douchage des cuirs à l'aide d'eau sous pression ou de vapeur additionnée d'antimicrobiens. Quelques équipes ont travaillé des pistes alternatives et novatrices (épilation chimique, enrobage des cuirs) mais sans réel succès. A ce jour, le douchage (avec antimicrobien) de la totalité du cuir des bovins (en cabine) préalablement à la dépouille est une pratique courante outre atlantique. En Europe, dans l'optique de traiter les cuirs particulièrement souillés (classés D), des systèmes basés sur l'aspersion, l'arrachage, le raclage mécanique et l'aspiration des souillures ont été conçus. Ce fut le cas du « Beef Carcass Dag Removal System » conçu par SFK puis du Décrovac de la société Industrade. Il va de soit que l'objectif visé ici est de traiter exclusivement les zones d'incision du cuir (zones de traçage), et notamment la partie ventrale de l'animal. Il n'existe cependant pas, à notre connaissance, de publication permettant d'évaluer l'impact de cette pratique sur le niveau de contamination des carcasses.



Figure 3 : L'hygiène de la dépouille.

(A gauche : principe de la spécialisation des mains ; a droite : ablation finale du cuir, sous assistance des opérateurs)

En cas de non respect de l'hygiène de la dépouille, la surface des carcasses révèle des « souillures spots ». Il s'agit de souillures circonscrites (n'excédant pas la taille d'une main) d'origine fécale, qui doivent impérativement être traitées (parées et/ou soumises à un traitement de type « Steam vacuum » - cf ci-après) car susceptibles de contenir des germes pathogènes, dont des EHEC. Le repérage de ces souillures, même peu prononcées, peut maintenant être réalisé par spectrométrie (technique Verif EYE).

Au delà de la dépouille, **l'éviscération** est considérée comme une opération particulièrement à risque sur le plan microbiologique. Avant de parvenir au poste d'éviscération, les carcasses font, depuis de nombreuses années, l'objet de 2 mesures préventives essentielles : l'ensachage du rectum et la ligature de l'œsophage (nommée herbière) ; l'objectif étant d'éviter tout déversement ultérieur des contenus gastriques et intestinaux en « fermant et en isolant » les 2 extrémités du système digestif (Fig. 4). Lorsque la carcasse arrive ensuite au poste d'éviscération, la gestuelle de l'opérateur (formation, dextérité, ouverture de la cavité abdominale en orientant la lame du couteau vers l'extérieur de la carcasse par exemple) et l'ergonomie du poste (présence d'écarteurs permettant un meilleur accès aux masses abdominales, passerelle permettant leur enlèvement en douceur, par exemple) sont 2 éléments essentiels afin d'éviter toute déchirure.



Figure 4 : Ligature de l'œsophage et ensachage du rectum, (préalablement à l'éviscération) et ablation des viscères abdominaux (facilitée par des écarteurs)

Cela étant, tous les abattoirs se trouvent confrontés à des carcasses dites « à accident d'éviscération » (Fig. 5), carcasses dites « AE », même si la survenue de ces carcasses « à problème » reste faible (des chiffres de 1 à 2 % sont annoncés par les opérateurs). Les carcasses concernées sont considérées par les autorités et par les professionnels, comme des « carcasses à risque ». Elles sont identifiées, tracées, font l'objet de procédures de requalification, et surtout, sont exclues des fabrications à risque (de type viandes hachées). En accord avec ces pratiques, l'Anses, dans son avis du 10/12/2012, propose une modélisation du rôle respectif de la dépouille et de l'éviscération sur la présence de *E. coli* O157:H7 en surface des carcasses bovines et ce, pour plusieurs niveaux de contamination. Malgré l'incertitude associée aux résultats, le modèle tend à prouver 1) que le pourcentage de carcasses relativement contaminées par *E. coli* O157:H7 serait faible (0,4/1000 pour une contamination égale ou supérieure à 100 ufc/cm² 2) que de tels niveaux ne surviennent que sur des carcasses ayant fait l'objet d'un accident d'éviscération qualifié de « majeur ».

A ce jour, la dangerosité des carcasses identifiées comme « AE » posent cependant un certain nombre d'interrogations. Ainsi, un point encore obscur réside dans les conséquences hygiéniques réelles d'un déversement des contenus digestifs (gastriques et intestinaux) sur (ou dans) la carcasse, par suite d'une défaillance au niveau de la ligature de l'œsophage. Cette question a été explicitement posée par les autorités à l'Anses. L'Agence, qui a répondu dans son avis du 10/12/2010, distingue clairement 2 situations. La première concerne les AE associées aux souillures des carcasses par le contenu des parties distales du tube digestif (intestins, rectum). A ces pollutions d'origine fécale (observées notamment lors d'un ensachage défectueux du rectum), est associé un risque sanitaire indéniable. La présence de germes pathogènes dans la partie distale du tube digestif des ruminants, est en effet bien établie, à l'image des nombreuses données acquises sur les fèces. En ce qui concerne les AE d'origine gastrique, les risques sanitaires apparaissent moindres. Ainsi l'Anses rapporte 2 publications (Van Donkersgoed *et al.*, 1999 ; McEvoy *et al.*, 2003) dans lesquelles, pour *E. coli* O157, la prévalence dans le rumen de bovins a été comparée à celle relevée dans les matières fécales. Dans l'étude de Van Donkersgoed *et al.* (1999), la prévalence dans le rumen était de 0,8 % contre 7,5 % dans les matières fécales. McEvoy *et al.* (2003), quant à eux, ont observé une prévalence pour *E. coli* O157 de 0,8 % dans le rumen contre 2,4 % dans les matières fécales. En accord avec ces travaux, et depuis la parution de l'avis de l'Anses, on peut également citer la publication de Walker *et al.* (2010), qui atteste également d'une moindre prévalence pour *E. coli* O157, dans le rumen, comparativement à celles des contenus intestinaux et du rectum. En définitive, ces différents travaux n'excluent pas que la pollution des carcasses par les contenus gastriques, bien que visuellement spectaculaire, n'induisent pas un apport conséquent de pathogènes sur ces carcasses, contrairement à ce qui se produit lors d'un dépôt de fèces.

En cours ou en fin de chaîne d'abattage, les opérateurs peuvent recourir à des traitements assainissants, à condition qu'ils ne viennent pas se substituer aux bonnes pratiques hygiéniques.

Cet aspect, qui fera l'objet d'une table ronde, dans le cadre de ce colloque, est un des points de discussion essentiel depuis une vingtaine d'années.

La commission européenne et notamment la France, a toujours montré une réticence vis à vis des traitements destinés à réduire la flore de surface des carcasses. Cette position s'appuie en premier lieu sur la réaffirmation d'axer la maîtrise de la qualité sanitaire des aliments sur des approches préventives et non correctives. En outre, des réserves ont pu être formulées sur l'emploi de substances antimicrobiennes, tant vis à vis de leur innocuité, des résidus éventuels générés que des conséquences potentielles sur les équilibres microbiens.

Depuis les années 2005-2006, la perception des techniques de réduction de la flore superficielle des carcasses a cependant sensiblement évolué en Europe. En effet, compte tenu de l'émergence, au stade industriel, de procédés dits « naturels » (c'est à dire sans agent chimique à effets antimicrobiens) de traitement des carcasses et du renforcement des mesures d'hygiène sur les chaînes d'abattage, le recours à de telles approches, est évoqué au niveau communautaire. Il convient toutefois que ces approches soient clairement identifiées par les utilisateurs comme des outils complémentaires par rapport aux Bonnes pratiques, et soient inclus, à part entière dans le plan de maîtrise sanitaire des abattoirs.

Aujourd'hui, la technique « steam vacuum » est largement utilisée. Vers 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 (Fig. 5). Plusieurs publications destinées à évaluer les performances de ces équipements ont amené les autorités américaines à valider, en 1996, l'utilisation de tels équipements pour l'élimination des souillures visibles, en substitution du parage au couteau (FSIS 1996). La question de l'utilisation du principe « steam vacuum » dans les abattoirs Européens est en fait réellement posée en 2006 par le Canada qui demande à la Communauté Européenne de se positionner vis à vis de cette technologie. Il s'en suivra, sous l'initiative de la France, un certain nombre d'échanges entre les états membres pour aboutir, en février 2009, à une reconnaissance de cette technique au niveau communautaire. Au niveau français, l'efficacité de la technique en abattoir de bovins a été démontrée (Cartier *et al.* ; 2010).

Au delà des appareils « légers » de type « Steam vacuum », certains opérateurs français ont opté et/ou travaillent sur des systèmes permettant le traitement de la totalité de la carcasse. Il s'agit de traiter les carcasses en cabine, généralement en fin de chaîne d'abattage. **Le douchage à l'eau chaude** (parfois avec du matériel américain) est, à notre connaissance quasiment le seul système présent dans quelques abattoirs français (Fig. 5). Ce douchage peut avoir un double effet : un effet mécanique permettant de réduire les souillures (effet de lessivage) et un effet d'inactivation des flores, si la

température est portée à plus de 74°C. Globalement la réduction des flores superficielles des carcasses sera étroitement fonction des caractéristiques de la cabine (type de buses notamment) et de ses conditions d'utilisation (temps, pression, température de l'eau). Il semble qu'une réduction d'environ 2 log (ufc)/cm² soit envisageable. D'un point de vue économique, le traitement reste cher dans la mesure où la réglementation communautaire exige un traitement de potabilisation, dans le cas d'un recyclage de l'eau. **Concernant l'utilisation de vapeur en cabine**, l'équipe du professeur Phébus (Université du Kansas) a breveté, vers les années 1990, une enceinte de « flash pasteurisation » suivie d'un refroidissement extrêmement rapide (procédé SPS). Ce matériel, qui n'est plus commercialisé actuellement, combinait les effets bactéricides de la vapeur et ceux du stress bactérien résultant du choc thermique. L'utilisation de vapeur fait toutefois toujours l'objet d'investigations, notamment en France (procédé Dôme vapeur). **D'autres technologies** relativement bien connues font, ou pourraient faire, l'objet d'investigations complémentaires et vraisemblablement déboucher sur des systèmes opérationnels à court terme. A ce niveau, peuvent être cités l'assainissement des carcasses par UV, et, bien sûr, par l'acide lactique. En Septembre 2011, l'autorité scientifique européenne (EFSA) s'est en effet prononcée favorablement sur les possibilités d'utilisation d'acide lactique pour le traitement des carcasses bovines. Cependant, à ce jour, il n'y a pas de position unanime, au niveau des autorités des différents Etats Membres

En France, la DGAL a sollicité l'ANSES sur ces approches. Les conclusions de l'Agence (avis du 10/12/2010) peuvent être résumées en 4 points : 1) le recours à un traitement susceptible de réduire les souillures visibles et microbiennes en surface des carcasses peut être envisagé, 2) ces traitements ne peuvent ni se substituer au respect des BPH, ni permettre, dans des conditions normales d'abattage, une réduction de la flore supérieure à 1 ou 2 log₁₀ (ufc)/cm², 3) les performances des systèmes sont dépendantes de leur conception et de leurs conditions d'utilisation, qui doivent, par conséquent, être définies par l'entreprise, 4) il n'est pas possible de fixer une réduction standard de la contamination superficielle des carcasses associée à ces traitements.

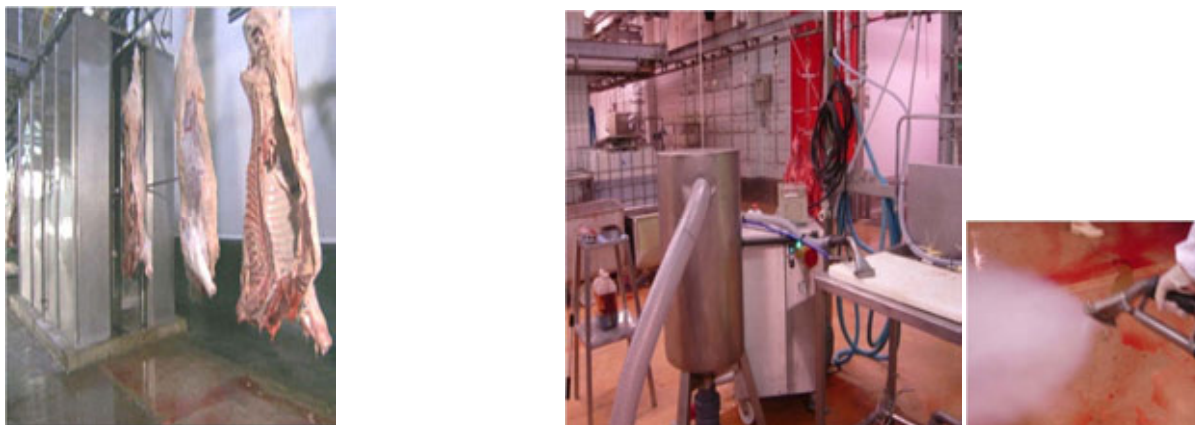


Figure 5 : cabine de douchage à l'eau chaude (à gauche) et visualisation de la technique « steam vacuum » (à droite)

En atelier de découpe et de fabrication : le renforcement des Bonnes Pratiques conduit, entre autre, à une réduction du nombre de fournisseurs, à des systèmes de traçabilité encore plus performants et à une vigilance accrue en matière de nettoyage et désinfection du gros matériel.

A l'image de ce qui a été décrit en abattoir, il n'existe pas de réelles mesures de maîtrise spécifiquement dédiées aux STEC pathogènes, au stade de la découpe (préparation des minerais), puis en fabrication (si ce n'est les procédures de contrôle libératoires qui feront l'objet du paragraphe suivant). Rappelons toutefois que les viandes hachées ont toujours été considérées comme des produits sensibles sur le plan hygiénique et que leur élaboration a toujours fait l'objet d'une réglementation stricte, et d'une attention particulière de la part des opérateurs.

Là encore, l'épidémie française de 2005 mettant en cause des viandes hachées a conduit à un renforcement des mesures d'hygiène en place. Sans détailler ici l'ensemble de ces mesures, il convient de rappeler 3 évolutions qui nous semblent fortes. En 1^{er} lieu, bon nombre d'opérateurs ont revu leurs procédures de qualification et de suivi de leurs fournisseurs de carcasses et de viandes, destinées à la filière des viandes hachées. Les exigences des cahiers des charges ainsi que les contrôles à réception ont été accrus. En 2^{ème} lieu, et afin d'être en mesure de faire face à un éventuel rappel (ou retrait) de leurs produits, certains sites de production ont été amenés à réévaluer leur système de traçabilité. En effet, l'élaboration de viandes hachées est complexe. Il s'agit d'un procédé séquentiel, pour lequel l'unité de fabrication est le contenu d'un broyeur mélangeur, d'une capacité de 300kg à 2 tonnes. Tous les muscles d'un lot de quartiers d'avants ne rentrent pas dans la même fabrication (ne serait-ce que vis à vis du respect de la teneur en matière grasse des produits). Les différents muscles d'un même lot de carcasses peuvent donc être répartis sur un nombre conséquent de productions qu'il conviendra d'être en mesure d'identifier en cas de problème. En 3^{ème} lieu, certains opérateurs ont dédié des lignes de production à la fabrication de produits destinés à des consommateurs sensibles (jeunes enfants). Ces initiatives

relèvent d'accords entre fabricants et distributeurs, sur la base de cahiers des charges privés. Enfin, il va sans dire que des efforts ont été réalisés sur les fondamentaux que représentent le froid (température des minerais maintenue à moins de 2°C, parfois avec utilisation de neige carbonique, et tendance à une utilisation plus importante de CO₂ dans les broyeurs-mélangeurs), le nettoyage et la désinfection du matériel, l'hygiène des opérateurs...

Après la fabrication : le contrôle libératoire.

Tout en étant une analyse *a posteriori*, le contrôle présente une facette « préventive » lorsque le résultat est connu avant la commercialisation des produits, permettant alors de mettre en place des contrôles de type libératoire. Ceci est fréquemment mis en œuvre sur le haché surgelé. Sa mise en œuvre suppose que toutes les mêlées fabriquées soient contrôlées (notion de systématique). A ce jour, il est réalisé exclusivement vis à vis de *E. coli* O157:H7 et sur la filière des Viandes Hachées Surgelées. Cette mesure aide au repérage des mêlées à risque épidémique (contaminées à plus de 4 -6 ufc/g). Comme pour toute modalité de contrôle, la fiabilité du résultat est fonction de différents paramètres parmi lesquels : la quantité et la répartition du critère dans le lot, les modalités de prise d'essai, les performances de l'outil analytique. S'agissant des STEC pathogènes dans le haché, les niveaux de contamination sont, comme nous l'avons souligné, extrêmement faibles. De plus aucune donnée en matière de répartition de cette contamination dans une mêlée n'est disponible. C'est pourquoi les opérateurs, les autorités et des instances scientifiques (cf Avis de l'Anses du 11/01/2011) soulignent l'intérêt de compléter les connaissances pour améliorer les performances de ces contrôles, notamment en étudiant la répartition des STEC au sein de mêlées contaminées.

Conclusion

En matière de viandes bovines, le secteur des viandes hachées, dont le poids économique n'est pas à rappeler, est confronté depuis 2005 aux EHEC, qui représentent un danger grave pour la santé des consommateurs, notamment des jeunes enfants. Grâce aux efforts considérables consentis par l'ensemble des acteurs concernés (opérateurs, instances scientifiques et techniques, autorités) le nombre de crises sanitaires est cependant limité dans l'hexagone. Le constat unanime fait aujourd'hui par l'ensemble de ces acteurs peut être schématiquement décliné en 4 principaux points : 1) un manque de données techniques et scientifiques face à un problème extrêmement complexe. 2) des solutions à explorer sur l'ensemble de la filière, et notamment en amont, au stade de l'élevage (contrôle et réduction du portage des EHEC par le cheptel). 3) la nécessité d'une extrême rigueur dans le respect des Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH) lors des étapes d'abattage, de découpe des viandes et de fabrication des portions, avec une vigilance toute particulière au stade de l'abattage ; ce respect des BPH étant un préalable incontournable à la mise en œuvre de traitements de sécurisation. 4) la mise au point ou l'optimisation de procédures de qualification (au sens large : fournisseurs, produits finis). En outre, les efforts de communication à destination du consommateur vis à vis d'une option de maîtrise essentielle, à savoir la cuisson et le lavage des mains, sont manifestement à poursuivre.

Références bibliographiques

- Afssa 2008. Avis du 15/07/2008
Afssa 2010. Avis du 27/05/2010
Andral, B., Aspan, A., Perelle, S., Fach P; 2004. Vet Rec, 155, 365-368.
Anses 2010. Avis du 10/12/2010
Anses 2011. Avis du 11/01/2011
Bibbal D, Auvray F, Kérouédan M, Peytavin C, Ferre F, Cartier P, Oswald E, Gay E, Loukiadis E, Brugère H. 2012. Zoonoses and Public Health, 59(S1), 12.
Blanco, M., Blanco, J.E., Blanco, J., Mora, A., Prado, C., Alonso, M.P., Mourine, M., Madrid, C., Balsalobre, C., Juarez A, 1997. Vet Microbiol, 54, 304-319.
Brugère H, Auvray F, Mariani-Kurkdjian P, King LA, Loukiadis E. 2012. Bulletin épidémiologique-Santé animale et alimentation, 50, 23-29.
Cartier, P., Allais, L., Malayrat, C. 2010. 13ème Edition des JSMTV (Clermont-Ferrand, 19-20 Octobre 2010), VPC. Hors série, 155-156
Ezawa, A., Gocho, F., Kawata, K., Takahashi, T., Kikuchi, N. 2004. J Vet Med Sci 66, 585-587.
Fach, P., 2004. Vet Rec 155, 365-368.
Ferens W.A. et Hovde C.H. 2011. Foodborne Pathogens and Disease, 8, 465-487.
Hancock, D. D., Besser, T. E., Rice, D. H., Herriott, D. E., Carpenter, L. V., 1998. Prev Vet Med 35, 11-19.
Hussein, H. S., 2007. J Anim Sci 85, 63-72.
Hussein, H. S., Sakuma, T., 2005. J Dairy Sci 88, 450-465.
Juarez, A., 1997. Vet Microbiol 54, 309-319.
Cobbaut, K., Berkvens, D., Houf, K., De Zutter, L. 2009. J Food Prot 72, 1848-1853.
McEvoy, J. M., A. M. Doherty, J. J. Sheridan, I. S. Blair, and D. A. McDowell. 2003. Journal of Applied Microbiology 95:256-266
Soon J.M., Chadd S.A. et Baines R. N. 2011. Animal Health Research Reviews, 12, 197-211.
Van Donkersgoed, J., T. Graham, and V. Gannon. 1999. Canadian Veterinary Journal 40:332-338
Walker, C., Shi, X., Sanderson, M., Sargeant, J., Nagaraja, T.G. 2010. Foodborne Pathog Dis 7(3), 249-255.

LES DANGERS CHIMIQUES DANS LES VIANDES : LES PLANS DE SURVEILLANCE ET DE CONTRÔLE

FOURNET I.

**DGAL, Bureau des laboratoires et de la coordination des contrôles officiels, 251, rue de Vaugirard
75732 Paris Cedex 15, France ; blacco.sdprat.dgal@agriculture.gouv.fr**

Contexte de mise en œuvre d'une surveillance sur les dangers chimiques

Certains produits alimentaires présentent la faculté d'accumuler, de façon plus ou moins importante, les contaminants chimiques d'origines naturelles (par exemple : mercure volcanique dans certains poissons), accidentelles (par exemple : contamination environnementales liées à un accident industriel) ou introduits volontairement (substances interdites ou temps d'attente non respectés).

Des analyses de risques conduites au niveau européen et national ont permis d'identifier un certain nombre de ces contaminants à surveiller tout au long de la chaîne alimentaire car susceptibles de présenter un risque pour la santé publique.

La direction générale de l'alimentation (DGAL) du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt met ainsi en œuvre un ensemble de plans de surveillance et de contrôle (PSPC) de la contamination des denrées alimentaires et de l'alimentation animale sur la base de ces analyses et dans le respect des RCE 882/2004 et 854/2004 du Code rural et pêche maritime (L.231-1 à L. 235-2, R. 234-9 à R. 234-14, L. 253-1 et suivants, R. 253-1 et suivants).

Les bases réglementaires pour les contaminants chimiques dans les denrées alimentaires d'origine animale

La grande majorité des plans de surveillances et de contrôles pour la recherche des contaminants chimiques mis en œuvre par la DGAL dans les produits animaux ou d'origine animale se base sur des obligations réglementaires :

- la directive 96/22/CEE pour la recherche des activateurs de croissance interdits ;
- la directive 96/23/CEE et règlement (CE) 915/2010 pour la recherche des médicaments vétérinaires et contaminants chimiques environnementaux.

Pour la plupart des contaminants recherchés, les seuils réglementaires sont fixés par le Règlement (CE) n°1881/2006 (teneurs maximales pour certains contaminants).

Dans certains cas, il n'existe pas de seuil réglementaire. Néanmoins, les laboratoires nationaux de référence (LNR) compétents fournissent des « seuils d'alerte » pour chacune des molécules recherchées au-delà desquels des investigations complémentaires doivent être mises en œuvre. Les résultats de ces plans sont transmis régulièrement à la Commission européenne afin d'évaluer le risque pour les consommateurs et ainsi proposer les futurs seuils réglementaires voire faire évoluer les réglementations.

Un **plan de surveillance** a pour objectif de **définir des taux de non conformité ou de contamination prévisionnels**. Il est toujours fondé sur un **échantillonnage aléatoire** au sein d'une population ou d'une sous-population identifiée.

Un **plan de contrôle** a pour objectif de **rechercher des anomalies, des non-conformités et éventuellement des fraudes**. Il est toujours fondé sur un **échantillonnage ciblé** lié à la connaissance des facteurs influant la conformité (critères de ciblage). Le ciblage des exploitants est réalisé en fonction des résultats antérieurs et de l'analyse de risques.

Un plan expérimental (ou Étude Exploratoire) correspond à des enquêtes scientifiques en vue de collecter des informations permettant de définir les techniques, outils et/ou méthodes d'investigation les plus adéquates pour répondre à la problématique posée (ex : mise en point d'une méthode d'analyse).

Mise en œuvre des plans de surveillance et de contrôle (PSPC)

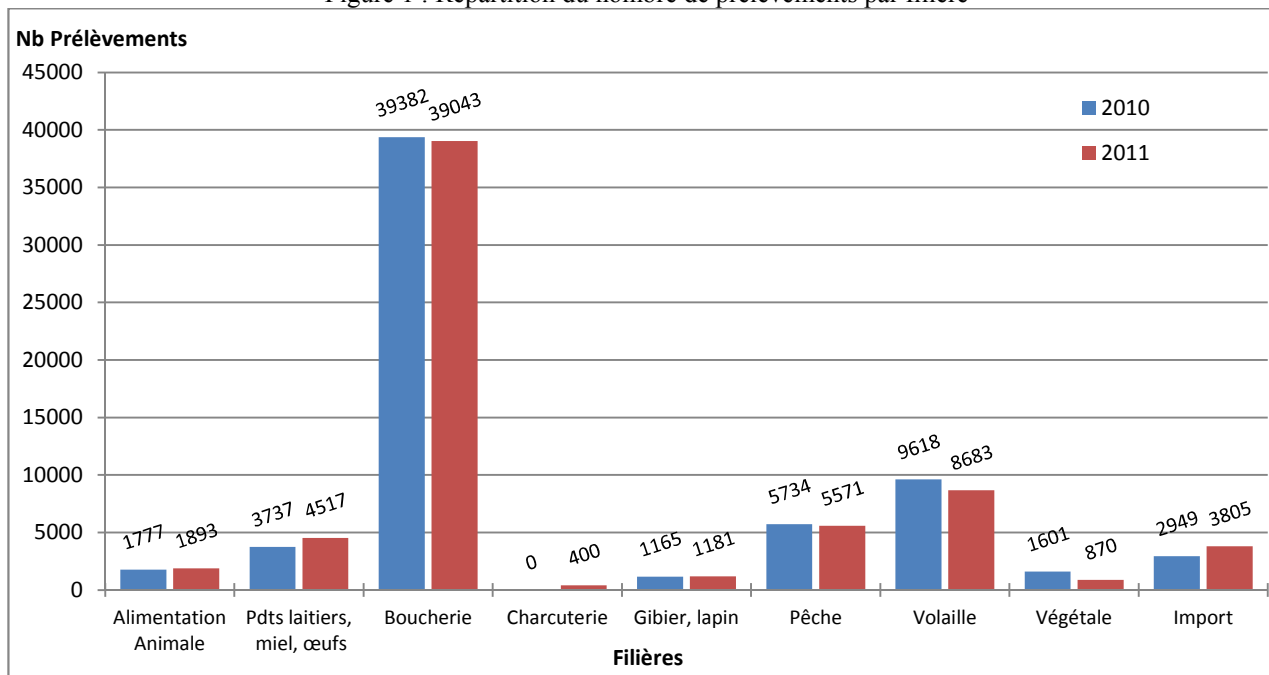
Les compétences techniques pour la préparation des PSPC (connaissance des contaminants chimiques et biologiques et/ou des produits pouvant faire l'objet de contaminations) se trouvent réparties dans les différentes sous-directions de la DGAL. La coordination de l'ensemble de ces plans de surveillance et de contrôle est réalisée, dès leur conception, avec les instances d'évaluation du risque : l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).

Les objectifs à atteindre sont définis au début de la construction des plans : surveillance ou contrôle, nombre d'échantillons, répartition nationale, types d'établissement...

Les modalités de mise en place peuvent se décliner sous la forme de l'application d'obligations réglementaires, pour lesquels des résultats doivent souvent être transmis à la commission, ou sous la forme d'études nationales. Elles prennent également en compte les contraintes budgétaires. C'est ainsi que plus de 63 000 prélèvements sont réalisés chaque année par la DGAL pour un budget d'environ 12 M d'€.

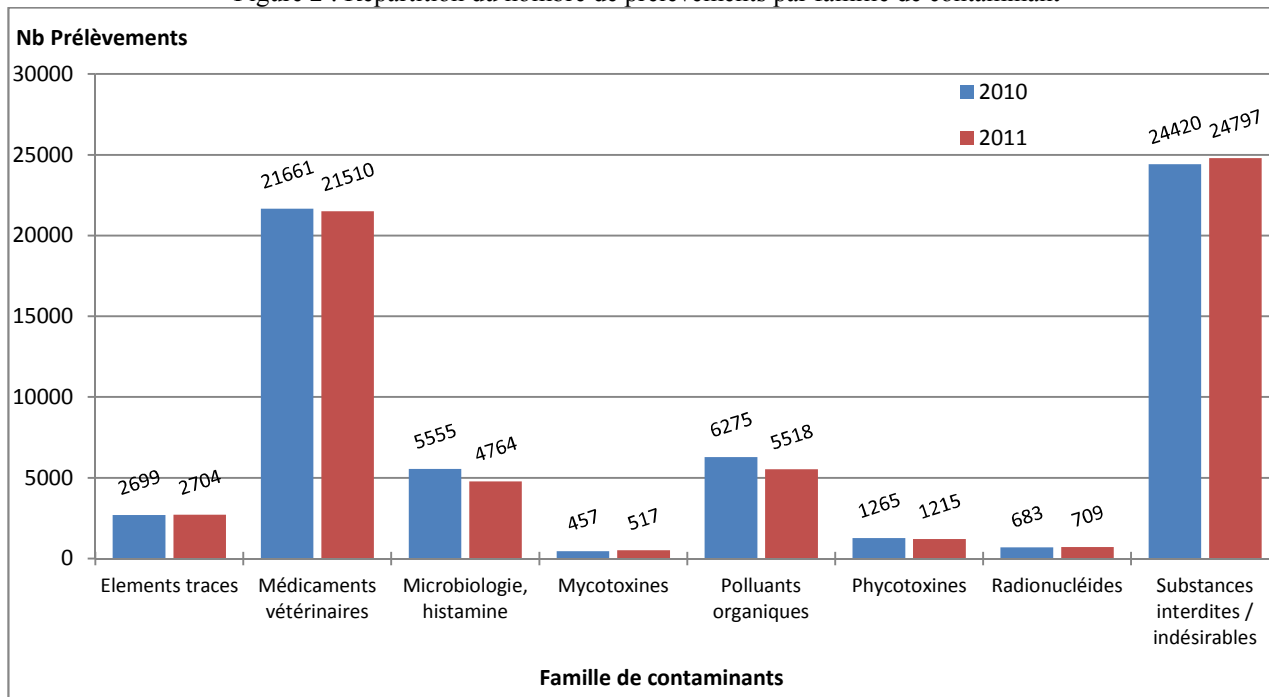
La majorité des prélèvements réalisés dans le cadre de la surveillance et du contrôle de la qualité sanitaire des denrées par la DGAL est effectuée au niveau de la production primaire avec une forte prédominance en filière boucherie et en moindre mesure en filière volaille. En effet, afin d'optimiser la maîtrise de la qualité sanitaire des aliments, il est apparu nécessaire d'adopter une approche transversale des contrôles : produits animaux, produits végétaux, denrées animales et d'origine animale, denrées d'origine végétale (figure 1).

Figure 1 : Répartition du nombre de prélèvements par filière



Cette surveillance est essentiellement orientée sur la qualité sanitaire face aux dangers chimiques : substances interdites (ou indésirables), médicaments vétérinaires et polluants organiques (figure 2).

Figure 2 : Répartition du nombre de prélèvements par famille de contaminant



Les substances recherchées dans le cadre de la surveillance des dangers chimiques

La large gamme de plans mis en œuvre nous permet d'avoir une vision d'ensemble sur le niveau de conformité des denrées animales et végétales et des produits animaux au regard des contaminants recherchés dans les filières, aussi bien en termes de contaminations chimiques que microbiologiques (figure 3).

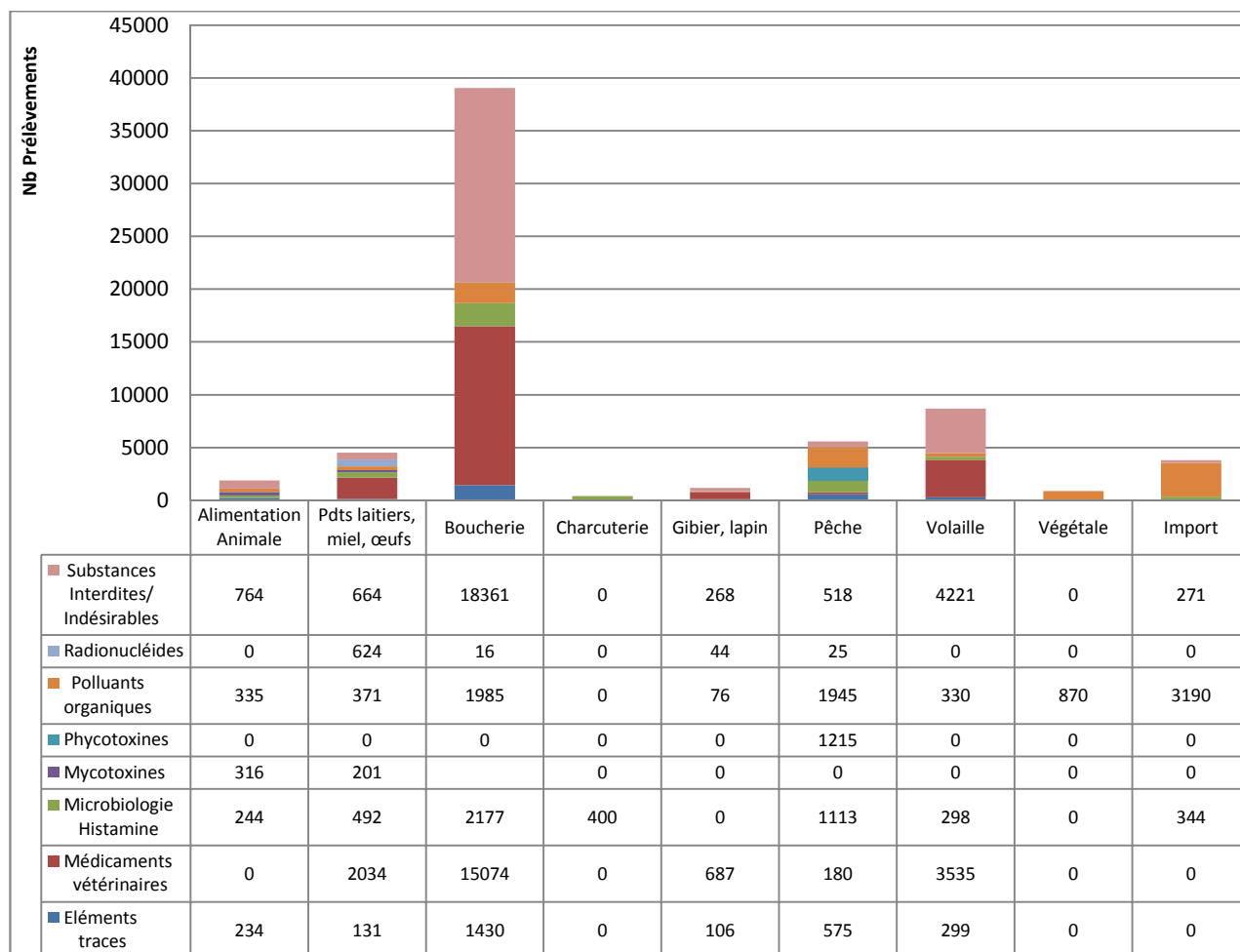


Tableau 1. Liste des substances recherchées par famille de substances

Familles de substances recherchées	Substances recherchées
Éléments traces	arsenic – plomb - cadmium - mercure - fluor
Médicaments vétérinaire	anti-inflammatoires - antibiotiques – anticoccidiens - tranquillisants – sulfamides – antihelminthique – colorants...
Mycotoxines	alfatoxines B1 – alfatoxines M1 -Ochratoxines – Zéaralénone - Tricothécènes A et B dont T2 et HT2 - Fumonisines B1 et B2
Phycotoxines	ASP – Toxines lipophiles – PSP
Polluants organiques	Résidus de pesticides – PCB - Dioxines – HAP-PFA - RFB
Radionucléides	Cesiums 134 et 137, iode 131, strontium 90, potassium 40, tritium, manganèse 54, argent 110, étain 124 et 125, ruthénium 106, carbone14, cobalt 60, béryllium 7, plutonium et uranium isotopiques, américium 241
Substances indésirables ou interdites	Nitrites - mélamines – protéines animales transformées A1 : stilbènes, dérivés de stilbènes - A2 : agents antithyroïdiens-A3 :stéroïdes-A4 :acides Résorcyliques-A5 :bêta-agonistes-A6 : chloramphénicol, nitroimidazoles, nitrofuranes.

Les résultats des PSPC face aux dangers chimiques dans les filières viandes

Les risques surveillés sont les contaminations par les substances interdites (ou indésirables), médicaments vétérinaires, polluants organiques, éléments traces, et les radionucléides.

Le tableau ci-après présente l'évolution des taux de conformités, des plans reconduits d'une année sur l'autre, des années 2009 à 2011.

Tableau 1. Taux de conformité des PSPC sur les trois dernières années

Intitulé plan / Taux de conformité	Bilan 2009	Bilan 2010	Bilan 2011
Plan résidus chimique animaux de boucherie	99,8%	99,7%	99,9%
Plan résidus chimique volaille	100,0%	99,9%	100,0%
Plan résidus chimique lapins	99,3%	98,6%	99,8%
Plan résidus chimiques gibier	99,5%	100,0%	100,0%
Plan radionucléides	100,0%	100,0%	100,0%
Plan dioxines, PCB et PFA	99,9%	100,0%	99,7%
Plan ETM	99,2%	99,9%	100,0%

Les **résultats obtenus en production primaire (élevage) sont satisfaisants** (de 99,8 à 100% de conformité).

Les non conformités obtenues en filière boucherie sont essentiellement dues à la contamination par des médicaments vétérinaires (36/16034).

Pour la filière lapin, il est à noter une baisse des non conformités en sulfamide (médicament vétérinaire) depuis 2009 (1/250 en 2011, 8/250 en 2010 et 5/250 en 2009), tandis que la fréquence des contaminations en chloramphénicol (substance interdite) reste identique (1/60).

La mise en place et l'exploitation des formulaires ICA (information sur la chaîne alimentaire) courant 2012 pour toutes les filières viande avant abattage, constitue une mesure de maîtrise des contaminations pour les substances interdites (ou indésirables) et les médicaments vétérinaires. Par ailleurs, elles permettent un meilleur ciblage des prélèvements en particulier dans les plans de contrôle.

Eu égard aux doutes actuels sur l'origine naturelle de certaines substances ayant un comportement « anabolisant-like » aucune non conformité n'a été confirmée.

Les **résultats obtenus au stade de la transformation et de la mise sur le marché sont satisfaisants** (99,7% de conformité).

Les foies (ovin) ont présenté deux non conformités en dioxines et PCB-DL (2/12 en 2011 et 1/12 en 2010).

Les sangliers en provenance des zones de rémanence liées à l'accident de Tchernobyl présentent des contaminations légères par le césium 137 à des valeurs toutefois bien inférieures aux seuils retenus en cas d'accident (5/33).

Conclusions et perspectives

Globalement et dans la limite de la représentativité des prélèvements et du respect des notes de service quant à la réalisation des plans, la fréquence d'apparition d'une contamination en substances interdites ou indésirables, médicaments vétérinaires, polluants organiques, éléments traces, et les radionucléides dans les filières viande est de 0 à 0,3% pour 2011.

Dans le cadre de la révision du règlement (CE) 882/2004, la Commission pourrait s'orienter vers une plus grande subsidiarité en matière de plans de surveillance ou de contrôle avec une évolution de la directive 96/23/CE ; ce qui permettrait une meilleure adaptation des plans au niveau du risque national.

Les travaux en cours de l'EFSA sur la modernisation de l'inspection sanitaire en abattoir et sur les risques sanitaires pour la santé publique prennent en compte les dangers chimiques.

Les avis sur la filière porcine (publié en octobre 2011) et sur la filière volaille (publié en juin 2012) mettent l'accent sur des substances chimiques dont le risque pour la santé publique sans être immédiat et aigu est néanmoins important : dioxine, DL-PCB- chloramphénicol pour les porcs et les volailles et nitofuranes et nitoimidazole pour les volailles.

Les avis mettent en avant le fait qu'un lien étroit doit être fait entre le contrôle des viandes et le contrôle de l'alimentation animale. Ces contrôles doivent en outre être régulièrement revus et prendre en compte les nouvelles substances.

Les perspectives d'améliorations nationales sont essentiellement orientées sur la fiabilisation des procédures, la qualité et la représentativité des résultats :

- en sécurisant la réalisation des prélèvements (méthodes de prélèvement harmonisées voire normalisées, transport,...) et des analyses (fiche de plan, encadrement de la méthodologie au sein des laboratoires...)
- en améliorant le ciblage des prélèvements au regard de l'analyse de risque conduite.

YERSINIA ENTEROCOLITICA : FREQUENCE DE CONTAMINATION DES AMYGDALES, FECES ET CARCASSES DE PORC DANS UN ABATTOIR BRETON

FEURER, C.¹, PIAUDEL, G.¹, LE ROUX, A.², MINVIELLE, B.²

¹ IFIP-Institut du porc, 7, av. du Général de Gaulle, 94 700-Maisons-Alfort

² IFIP-Institut du porc, La Motte au Vicomte, B.P. 35104, 35 651 Le Rheu Cedex

Abstract : *Yersinia enterocolitica* contamination of pig tonsils, carcasses and feces in one French slaughterhouse

Pig is considered to be the main animal reservoir of human pathogenic *Yersinia enterocolitica* strains, which could contaminate meat during the slaughtering process. Two sampling campaigns were lead in one slaughterhouse to obtain prevalence data for *Y. enterocolitica* during winter on tonsils, feces and carcasses from 23 batches of 5 pigs sampled and analyzed during campaign 1 (10/2009-03/2010) and from 9 batches of 5 pigs for campaign 2 (11-12/2010). Results showed a high frequency of positive pigs with 12,3% and 13,6% of either positive tonsils or feces in campaigns 1 and 2 respectively. The inter batches prevalence was 34,8% in campaign 1 and 55,5% in campaign 2. On the 20 positive pigs found, 8 and 15 were respectively positive only on tonsils or feces, and 3 pigs only were positive both on tonsils and feces. Despite the unexpected high detection rate on feces, no carcass was found to be positive. The importance of *Y. enterocolitica* at slaughter level is confirmed with 12,6% [8,3 to 18,7%] of positive pigs in winter and 89% of isolated strains belonging to the pathogenic biotypes 4/O:3, 2/O:9 or 3/O:5,27.

Introduction

Y. enterocolitica est la troisième cause la plus fréquente de diarrhées aiguës en Europe après *Campylobacter* et *Salmonella* (EFSA, 2012). Récemment, le taux d'incidence des cas de yersiniose humaines attribuables à la consommation de porc a été estimée à 2,826 cas pour 100 000 habitants par an en Europe derrière *Salmonella* (3,374 cas/100 000 habitants) mais devant *Campylobacter* (2,170 cas / 100 000 habitants) (Fosse *et al.*, 2009). Le porc représente le principal réservoir humain de souches de *Yersinia enterocolitica* pathogènes (Ostroff *et al.*, 1994). Cette bactérie peut être isolée de la langue, des amygdales mais peut aussi être retrouvées dans les fèces ou sur la carcasse. En France, les principaux biotypes pathogènes pour l'homme sont connus (4/O:3, 2/O:9 et 3/O:5,27) mais les données de prévalence en filière porcine sont rares et se concentrent principalement sur la contamination des amygdales. L'objectif de l'étude était donc d'évaluer la fréquence de contamination des carcasses après abattage et de déterminer la pathogénicité des souches isolées afin de mieux caractériser le danger *Y. enterocolitica* chez le porc.

Matériels et méthodes

Echantillonnage. Deux campagnes de prélèvements ont été conduites sur une période de 14 mois allant d'octobre 2009 à décembre 2010, sur la période hivernale généralement considérée comme plus propice au développement de *Y. enterocolitica*. Les prélèvements ont été effectués en parallèle sur les amygdales, les fèces et la carcasse d'un même porc afin d'évaluer les risques de contamination croisée. Cents quatorze fèces, amygdales et carcasses provenant de 23 lots de 5 porcs ont été analysés durant la première campagne (octobre 2009-mars 2010). Quarante quatre fèces, amygdales et carcasses issus de 9 lots de 5 porcs ont été analysés durant la dernière campagne de prélèvement (novembre-décembre 2010). Dix grammes de fèces ont été collectés après éviscération sur la ligne d'abattage, et 500 cm² du quart avant de la carcasse correspondante ont été prélevés par chiffonnage tandis que les amygdales étaient prélevées par excision avant réfrigération de la carcasse.

Analyses microbiologiques. Tous les échantillons ont été enrichis en milieu ITC (Irgasan, Tircacilline, Chlorate de potassium) (48h, 25°C) et isolés sur gélose CIN (Cefsulodine, Irgasan-Novobiocine) (24h, 30°C). Les colonies caractéristiques ont été confirmées par la réalisation de galeries Api 20E (Biomérieux). Le biotype pathogène ou non pathogène des souches de *Y. enterocolitica* isolées a été identifié par PCR-multiplex, selon la méthode de Thisted-Lambertz et Danielsson-Tham (2005) modifiée.

Résultats et discussion

Les résultats ont montré une relative stabilité de contamination, avec 12,3% [7,5-19,61%] et 13,6% [6,5-26,8%] des échantillons (amygdales ou fèces) positifs durant les campagnes n°1 et n°2 respectivement (tableau 1). La fréquence d'amygdales positives observée dans cette étude pour la période hivernale, 5,1% [2,2-9,8%] est inférieure à la prévalence estimée en France sur amygdales par Fondrevez en 2012 (13,7% [10,1-17,3%]), sachant que celle-ci est plus faible que celle trouvée dans les autres pays européens.

Tableau 1 : Résultats de détection sur amygdales, fèces et carcasses

	Echantillons positifs			Porcs positifs
	Amygdales	Fèces	Carcasses	
Campagne 1	5/114	10/114	0/114	14
Campagne 2	3/44	5/44	0/44	6

Dans la bibliographie, la prévalence obtenue sur amygdales est généralement supérieure à celle observée sur langue, fèces, nœuds lymphatiques ou carcasses (Frederiksson-Ahomaa *et al.*, 2007), alors que dans notre étude nous avons identifié plus de prélèvements positifs sur fèces que sur amygdales.

Sur un total de 20 porcs positifs, 8 (40%) et 15 (75%) porcs présentaient respectivement des amygdales ou des fèces positives pour la présence de *Y. enterocolitica*. Seuls 3 porcs (15%) présentaient à la fois des amygdales et des fèces positifs.

Malgré le taux important et inattendu de détection sur fèces, aucune carcasse n'était positive pour la présence de *Y. enterocolitica* (chiffonnage de 500 cm²), alors que le risque de contaminations croisées directes ou indirectes des carcasses via les matières fécales était élevé. Ces résultats sont concordants avec d'autres données publiées (Gürtler *et al.*, 2005).

Par ailleurs, contrairement à de nombreux pays européens, dans la majorité des abattoirs français la langue est laissée à l'intérieur de la carcasse, les amygdales ne sont pas retirées après inspection, et la tête est laissée intacte (non fendue) jusqu'à la sortie de la première phase de réfrigération. Cette spécificité de procédé constitue probablement un facteur protecteur de la contamination de surface des carcasses.

La fréquence de contamination inter lots était de 34,8% [18,8-55,3%] durant la campagne n°1 et de 55,5% [26,2-81,3%] durant la campagne n°2 (tableau 2), ce qui est plus faible que la prévalence inter lots de 74,3% [64,8-83,8%], identifiée sur amygdales issues de 96 lots de 20 à 40 porcs par Fondrevez en 2012.

Tableau 2 : Résultats de prévalence par porc et inter lots

	Prévalence porc (%)	Prévalence inter lots (%)
Campagne 1	12,3 [7,5-19,6]	34,8 [18,8-55,3]
Campagne 2	13,6 [6,5-26,8]	55,5 [26,2-81,3]

Dans cette étude, 89% des souches isolées étaient identifiées comme pathogènes par PCR-multiplex : 82%, 7% et 11% appartenaient aux biotypes 4/O:3, 2/O:9 ou 3/O:5,27 et 1A respectivement. La répartition des biotypes pathogènes est identique à celle issue de l'étude de prévalence de Fondrevez, qui trouvait que 92,5% des souches pathogènes appartenaient au biotype 4 et 7,5% au biotype 3 (Fondrevez, 2012).

Conclusion

La fréquence d'amygdales positives observée dans cette étude en période hivernale est inférieure à la prévalence estimée en France. Par ailleurs, la fréquence de prélèvements positifs (amygdales, carcasse ou fèces) observée est faible comparée aux résultats publiés dans les autres pays européens. En revanche, un taux de contamination plus important a été obtenu sur fèces que sur amygdales. Cependant, malgré le risque de contamination croisée des carcasses via les matières fécales lors de l'abattage, aucune carcasse n'a été identifiée positive pour la présence de *Y. enterocolitica* avant réfrigération.

Ces résultats confirment l'importance du danger *Y. enterocolitica* chez le porc et la maîtrise nécessaire de l'hygiène de l'abattage. La pratique d'abattage française qui consiste à laisser la langue et les amygdales à l'intérieur de la carcasse et à laisser la tête intacte jusqu'à la sortie de la première phase de réfrigération pourrait constituer un facteur protecteur comparé aux pratiques des autres pays européens, chez lesquels la langue est retirée sur chaîne. Cet aspect sera investigué lors d'un prochain programme de recherche.

L'analyse épidémiologique des souches isolées dans cette étude reste également à réaliser, elle permettrait de caractériser la diversité des souches circulantes et d'identifier une éventuelle spécificité d'élevage.

Cette étude a reçu le soutien financier d'Inaporc.

EFSA, 2012. The EFSA Journal, 10(3): 2597 (442p).

Fondrevez, M., 2012. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1.

Fosse, J., Seegers, H., Magras, C. 2009. Zoonoses Public Health 56, 429-454.

Frederiksson-Ahomaa, M., Stolle, A., Stephan, R. 2007. Int J Food Microbiol 119, 207-212.

Gürtler, M., Alter, T., Kasimir, S., Linnebur, M., Fehlhaber, K. 2005. J. Food Prot., 68, 850-854.

Ostroff, S.M., Kapperud, G., Hutwagner, L.C., Nesbakken, T., Bean, N., Lasse, J., Tauxe, R. 1994. Epidemiol. Infect., 112, 133-141.

Thisted-Lambertz, S., Danielsson-Tham, M. L. 2005. Appl. Environ. Microbiol. 71, 3674-3681.

DES BACTERIES BIOPROTECTRICES POUR AMELIORER LA QUALITE DES PRODUITS DE LA MER

LEROI F.¹, BRILLET-VIEL A.², CHEVALIER F.¹, CARDINAL M.¹, CORNET J.¹,
PILET M.F.²

¹ IFREMER – Laboratoire de Science et Technologie de la Biomasse Marine (STBM) -
BP 21105 - 44311 Nantes Cedex 03 – France

² LUNAM Université, ONIRIS – UMR1014 Sécurité des Aliments et Microbiologie
(SECALIM) – Site de la Géraudière - BP 82225 - 44322 Nantes Cedex 3 – France

Abstract

Two strains of *Leuconostoc gelidum* and *Lactococcus piscium* are able to improve sensory characteristics of respectively fresh salmon steak and cooked peeled shrimp packed under modified atmosphere. With an inoculation of 10^6 cfu g⁻¹, the shelf life of shrimp is increased by one week. The protective effect may be due to inhibition of some bacterial group such as mesophilic lactic acid bacteria, enterobacteria and *Brochothrix thermosphacta*.

Introduction

La composition de la chair de poisson (faible teneur en carbohydrates et richesse en composés azotés de faible poids moléculaire), l'activité de l'eau (aw) élevée et le pH neutre permettent le développement rapide de bactéries à Gram négatif au fort pouvoir altérant. L'emballage sous vide ou sous atmosphère modifiée augmente relativement peu la durée de conservation (en comparaison avec la viande) car la présence d'oxyde de triméthylamine dans la chair des animaux marins permet la respiration anaérobie de certains germes du poisson (*Shewanella* spp., *Photobacterium* spp.) qui le dégradent en triméthylamine, très malodorant. Dans certains produits transformés, des bactéries lactiques, des entérobactéries et *Brochothrix thermosphacta* participent également à l'altération. La biopréservation consiste à ensemençer un produit avec des bactéries sélectionnées pour empêcher le développement microbien des germes indésirables (pathogènes et/ou altérants). Ces bactéries ne doivent pas présenter de risque pour la santé ni modifier les caractéristiques organoleptiques du produit à conserver. Cette présentation donne un exemple de sélection et d'application de 3 bactéries lactiques dans du saumon frais et des crevettes cuites conservées sous atmosphère contrôlée.

Matériel et méthode

Un screening de plus de 5000 isolats a permis de sélectionner 3 bactéries lactiques, *Lactococcus piscium* EU2229, *Leuconostoc gelidum* EU2247 et EU2262. Une souche industrielle LLO a été fournie par la société Biocéane (Nantes). Ces quatre souches, ainsi qu'un mélange LLO/EU2229 ont été testées sur 4 lots de saumon frais et 2 lots de crevettes fournis par des industriels. Une dilution appropriée des précultures des souches bioprotectrices a été pulvérisée sur toutes les faces des pavés de saumon (2% v/m) et des crevettes cuites (5%) avec un sprayer (Diamant 0.6L RCM, Nantes, France), afin d'obtenir une concentration initiale de 10^6 ufc g⁻¹. Les produits ont été conditionnés par 125 g dans des barquettes sous atmosphère modifiée (50% N₂ - 50% CO₂) et conservés à 2°C pendant 3 et 7 jours respectivement pour le saumon et les crevettes puis à 8°C jusqu'au rejet sensoriel du témoin non biopréservé. Les analyses sensorielles ont été réalisées par 12 juges entraînés qui ont noté un niveau d'altération sur une échelle de 0 à 10 (basé sur les odeurs). Un autre essai sur crevette a été réalisé avec la souche EU2229, en poussant les analyses au-delà de l'altération du témoin afin de déterminer la durée de l'effet de la bactérie bioprotectrice. La flore totale, les bactéries lactiques, les entérobactéries et *B. thermosphacta* ont été dénombrés respectivement sur milieu de Long and Hammer, Elliker, CASO/VRBG et STAA (Leroi et al, 2001). Enfin, des crevettes cuites stérilisées par ionisation ont été inoculées par un cocktail de bactéries altérantes à 10^2 ufc g⁻¹ (6 souches de *Carnobacterium maltaromaticum*, 4 *Shewanella baltica* et 3 *B. thermosphacta*) ou le cocktail avec EU2229 (10^6 ufc g⁻¹). Les espèces ont été dénombrées sur milieux et températures sélectifs.

Résultats et discussion

Les lots de saumon A, B et D étaient altérés au bout de 9 jours (note supérieure à 6/10) et le lot C dès 6 jours, ce qui s'explique par la forte contamination initiale de ce lot (données non montrées). Sur le lot C les souches bioprotectrices ont eu peu d'effet. En revanche dans tous les autres cas, l'application de la souche LLO et *L. gelidum* EU2247 ont permis d'améliorer très significativement la qualité à 9 jours (Fig. 1). Le mélange LLO/EU2229 n'a pas donné pas de meilleurs résultats que LLO pur.

Les crevettes, quant à elles, se sont altérées au bout de 13 jours, avec des notes de 5.4 et 6.7 dans les lots A et B. Toutes les souches ont eu un effet bioprotecteur mais le plus important a été obtenu avec *L. piscium* EU2229 (note 2.0 et 1.1 respectivement). Les expérimentations menées sur un autre lot de crevettes cuites ont montré que le produit pouvait être conservé plus de 20 jours avec le ferment EU2229 contre 14 seulement pour le témoin (données non montrées).

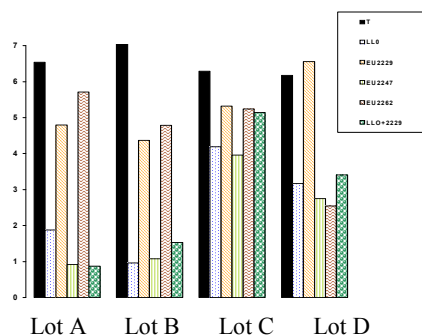


Figure 1 : note d'altération de 4 lots de saumon frais au bout de 9 jours de conservation (lots A, B et D) et 6 jours (lot C)

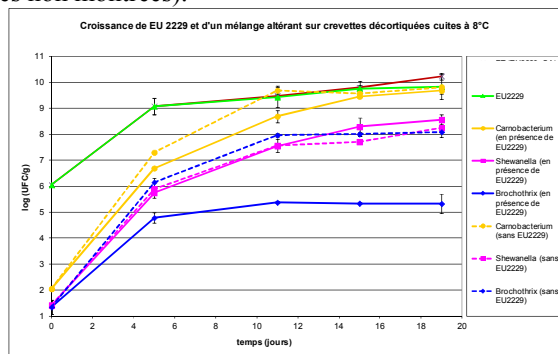


Figure 2 : Croissance de *C. maltaromaticum* (orange), *S. putrefaciens* (rose) et *B. thermosphacta* (bleu) dans des crevettes décortiquées stockées sous atmosphère modifiée à 8°C, seul (pointillé) ou avec EU2229 (trait plein)

Dans un souci d'explication du phénomène, des crevettes stériles ont été artificiellement contaminées par des souches identifiées comme responsables de l'altération (Macé et al., 2011). *C. maltaromaticum*, *S. putrefaciens* et *B. thermosphacta* ont atteint 10^{8-9} ufc g⁻¹ au bout de 10 jours et le produit a été jugé très altéré par le jury (note > 6). La souche EU2229 a inhibé la croissance de *B. thermosphacta* et permis de maintenir la note sensorielle en dessous de 3 pendant 20 jours. (Fig. 2). Ceci corrobore les résultats de Fall et al. (2010, 2011). Cependant dans les crevettes naturellement contaminées étudiées dans l'expérience précédente, *B. thermosphacta* n'était pas présent. Dans ce cas, la diminution observée des bactéries lactiques mésophiles et des entérobactéries, de 1 log environ, pourrait expliquer l'amélioration de la qualité.

Enfin, nous avons vérifié que les souches bioprotectrices sélectionnées ne produisaient pas de mauvaises odeurs ni d'amines biogènes, ne présentaient pas de résistance à des antibiotiques transmissibles, étaient faciles à cultiver et résistaient à la lyophilisation.

Conclusion

Cette étude montre que le procédé de biopréservation est applicable dans certains produits de la mer aux saveurs pourtant très délicates. Le choix de la souche est à adapter à chaque produit. Les mécanismes d'action restent encore flous et la seule façon de déterminer l'efficacité d'une souche est le test sensoriel. Le procédé de biopréservation n'est applicable que sur des produits de qualité initiale correcte et ne doit pas faire oublier le strict respect des bonnes pratiques de transformation et des règles d'hygiène.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet MIPROMER, coordonné par le Pole Agronomique Ouest et financé par les régions Bretagne et Pays de la Loire.

Références bibliographiques

- Fall P.A., Leroi F., Cardinal M., Chevalier F. and Pilet M.F., 2010. Lett. Appl. Microbiol., 50, 357-361.
- Fall P.A., Pilet M.F., Leduc F., Cardinal M., Duflos G., Guérin, C. Joffraud, J.J. and Leroi F., 2012. Int. J. Food Microbiol., 152, 82-90.
- Jaffrès E., Lalanne V., Macé S., Cornet J., Cardinal M., Sérot T., Dousset X. and Joffraud, J.J., 2011. Int. J. Food Microbiol., 147, 195-202.
- Leroi F., Joffraud J.J., Chevalier F. and Cardinal M., 2001. J. Appl. Microbiol., 578-587.
- Matamoros S., Leroi F., Cardinal M., Gigout F., Kasbi Chadli F., Cornet J., Prevost F. and Pilet M.F. 2009. J. Food Prot. 72, 365-374.

VALIDATION DE LA QUALITE DE LA VIANDE HACHEE DE PORC PAR UNE APPROCHE METAGENOMIQUE CIBLEE

TAMINIAU B.¹, NEZER C.², ADOLPHE Y.¹, DELHALLE L.², POULLET J.-B.², CLINQUART A.¹, DAUBE G.¹

1. Département des Sciences des Denrées alimentaires, Université de Liège, B43b Boulevard de Colonster, 20 à B-4000 Liège, Belgique.

2. Quality Partner S.A. Rue Hayeneux, 4040 Herstal.

Abstract : Pork minced meat shelf-life validation through the total bacterial flora characterization by targeted metagenomic approach

Food products represent great biotopes for bacteria. The optimization of foodstuffs conservation pass by a better understanding of those biotopes and their spoilage. The current techniques of new generation sequencing give a new dimension to the microbial ecology, through the metagenomic analysis of individuals' large number, within a mixed microbial population. Our aim is to demonstrate that this methodology can be successfully applied to the validation of the quality of foodstuffs during storage. This study was carried out on pork minced meat with shelf-life tests in various conditions of preservation (temperature and packaging). The analysis was performed in parallel with standardized microbiological methods and with massive sequencing of two hypervariable regions of the rDNA 16S. The results show an excellent correlation between the two approaches and underline the tremendous utility of metagenomic analysis for in-depth characterization of the potential altering bacteria in fresh meat.

Introduction

La métagénomique est une discipline récente qui s'attache à attribuer une identité, taxonomique, génique ou fonctionnelle, à des fragments d'ADN d'origine inconnue. Son développement et son utilité bénéficient grandement de l'essor des techniques de séquençage de seconde génération permettant d'obtenir d'un échantillon de grandes quantités de séquences d'ADN (Simon et Daniel, 2011).

Cette étude démontre, à travers le suivi de la contamination bactérienne de viande fraîche de porc, que cette méthodologie peut rapidement être adaptée aux exigences spécifiques de la microbiologie des aliments. En effet, les denrées alimentaires périssables représentent des biotopes de choix pour les bactéries (Nychas *et al.*, 2008). L'optimisation de la conservation de ces denrées, importante tant du point de vue économique que de la santé publique, passe par une meilleure connaissance de l'évolution de ces flores et des processus de détérioration des qualités du produit. Les microbiologistes ont depuis longtemps abordé ce problème en utilisant différentes approches dépendantes ou non de la culture microbienne, mais à petite échelle. L'analyse métagénomique est donc une rupture technologique qui allie analyse à grande échelle et large spectre (Jung *et al.*, 2011 ; Nam *et al.*, 2012).

Matériels et méthodes

Des échantillons standardisés de viande hachée de porc ont été conservés dans différentes conditions de température et de conditionnement jusqu'à la Date Limite de Consommation (DLC) fournie par le producteur. Trois conditions de température ont été testées : condition standard 4°C, condition abusive 12°C et test de vieillissement mimant l'achat par un consommateur (1/3 de la DLC à 4°C et 2/3 à 8°C). Deux conditions d'emballage ont été testées : barquette polystyrène avec film plastique perméable (FW) et barquette PP/EVOH avec film PP/EVOH/PA sous atmosphère 30% CO₂, 70% O₂ (MAP).

La flore bactérienne des échantillons a été déterminée au jour du conditionnement (D0) et à la DLC (D3 pour le FW et D6 pour le MAP). Cette analyse a été réalisée en parallèle par la microbiologie classique (flore totale mésophile, flore lactique, *Enterobacteriaceae* et *Pseudomonas* spp.) et par une approche métagénomique.

Pour cette dernière, l'ADN bactérien a été extrait des échantillons. Une amplification spécifique de deux régions hypervariables de l'ARNr 16S (V1-V3 et V5-V6) a permis de générer deux librairies par échantillons. Les librairies ont été soumises à un run de pyroséquençage avec le séquenceur GS Junior (Roche).

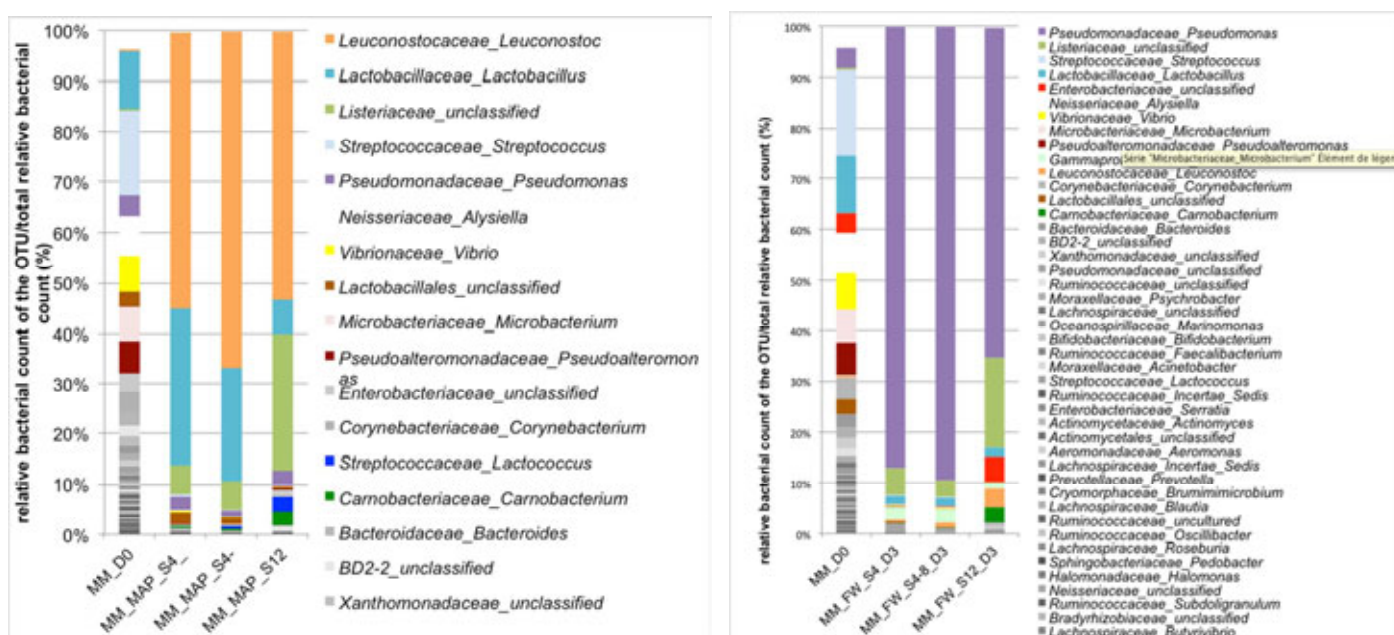
Les séquences obtenues ont été filtrées et nettoyées. Un protocole bio-informatique utilisant le package MOTHUR a permis d'assigner une identité taxonomique aux séquences obtenues (Schloss *et al.*, 2009). Enfin, les différences statistiquement significatives entre les échantillons ont été déterminées avec des tests exacts de Fisher avec le logiciel STAMP (Parks *et al.*, 2010).

Résultats et discussion

L'analyse microbiologique des échantillons à DLC montre, comme attendu, une contamination progressive des échantillons. La prépondérance traditionnellement observée des *Pseudomonadaceae* dans le FW et des bactéries lactiques sous MAP est bien présente. La composition plus précise des populations n'a pas pu être obtenue avec cette méthodologie, même si celle-ci doit logiquement être différente entre 4°C et 12°C de conservation.

Pour l'analyse métagénomique, plus de 160.000 séquences ont été obtenues et analysées pour l'ensemble des échantillons testés (79.090 séquences pour V5-V6 et 83.375 pour V1-V3). Le protocole d'analyse des séquences a

permis d'obtenir respectivement 86% et 99,45% d'identification précise au genre pour les régions hypervariables V5-V6 et V1-V3. Cent cinq genres bactériens différents ont été identifiés sur l'ensemble des échantillons (Figure 1).



Conclusions

VIANDES BOVINES À LONGUE DURÉE DE CONSERVATION CONDITIONNÉES SOUS VIDE : ISOLEMENT ET CARACTÉRISATION DE SOUCHES DE *CARNOBACTERIUM*

IMAZAKI P.H.¹, TAHIRI A.¹, RODRIGUES A.¹, TAMINIAU B.¹, NEZER C.², DAUBE G.¹,
CLINQUART A.¹

¹ Université de Liège, Département des Sciences des Denrées alimentaires, Sart Tilman B43b,
4000 Liège, Belgique

² Quality Partner, Rue Hayeneux, 62, 4040 Herstal, Belgique

Abstract : Isolation and characterization of *Carnobacterium* from long shelf-life vacuum-packed beef

The lactic acid bacteria *Carnobacterium divergens* and *Carnobacterium maltaromaticum* are often associated to meat and meat products and may be used as a protective culture, improving the microbial stability and the safety of these products. In this context, the aim of this study was to isolate and characterize *Carnobacterium* from long shelf-life vacuum-packed beef. LAB counts after culture at +22°C remained below 2.0 log UFC/cm², even at the end of shelf life. On the other hand, the ecosystem evaluation performed by metagenomics revealed the predominance of *Carnobacterium* and *Lactobacillus* on the samples. After spreading of a peptone water suspension obtained from the samples on PCA, pure isolates were collected and identified by API 50 CHL galleries. Seventy-eight % of isolates were *C. maltaromaticum*, 3 % *C. divergens* and 19 % could not be identified. The next step of this work will consist in performing a genotypic and functional characterization of these *Carnobacterium* isolates.

Introduction

Le conditionnement de la viande sous vide associé à une température de conservation proche du point de congélation permet des conservations de très longue durée, jusqu'à plusieurs mois (Jeremiah et Gibson, 2001), ce qui rend possible le commerce de la viande à l'échelle de la planète sans recourir à la surgélation. Outre le type de conditionnement et la température de conservation, la durée de vie d'une viande est directement liée à sa qualité microbiologique initiale (Nychas *et al.*, 2008) et à l'évolution de l'écosystème microbien associé à celle-ci.

Un grand nombre de bactéries lactiques associées à la viande sont connues comme d'importants producteurs de bactériocines (Castellano *et al.*, 2008). Ces bactériocines sont des peptides présentant une activité bactéricide ou bactériostatique contre d'autres souches, espèces ou genres bactériens. De cette manière, la présence de certaines bactéries lactiques dans la viande fraîche pourrait prolonger la durée de conservation, et améliorer la stabilité microbienne et la sécurité de ce produit.

Le genre *Carnobacterium* fait partie des bactéries lactiques et est composé de huit espèces, mais seulement les espèces *Carnobacterium divergens* et *Carnobacterium maltaromaticum* sont généralement associées à la viande (Hugas, 1998 ; Nieminen *et al.*, 2011). Même si ces deux espèces peuvent être utilisées en tant que flore de protection, la production de bactériocines n'est pas un pré-requis à leur capacité bioprotectrice. (Laursen *et al.*, 2005). Cependant, Leisner et collaborateurs (1995) ont constaté que le genre *Carnobacterium* peut être lié à des phénomènes d'altération de la viande.

Dans ce contexte, cette étude a pour objectif d'isoler et de caractériser *Carnobacterium* à partir de viandes bovines fraîches à longue durée de conservation sur lesquelles une étude de l'écosystème microbien avait été préalablement réalisée.

Matériel et méthodes

Deux lots composés de trois contre-filets (muscle *longissimus dorsi*) d'origine australienne emballés sous vide, affichant une durée de vie commerciale (DVC) de 140 jours, ont été fournis par un grossiste localisé en Région wallonne (Belgique). Après réception dans le laboratoire, les échantillons ont été découpés en tranches ; celles-ci ont été reconditionnées sous vide, et conservées à -1 °C jusqu'aux 2/3 de la DVC (93 jours) et puis à +4 °C jusqu'à la fin de la DVC. Aux 2/3 et à la fin de DVC, 25 g de viande ont été homogénéisés dans 225 mL d'eau peptonée, et des dénombrements des bactéries lactiques après incubation à +22 °C ont été réalisés par la méthode automatisée TEMPO[®]. La diversité bactérienne des échantillons a été évaluée par approche métagénomique (extraction de l'ADN total, amplification du gène codant pour l'ARNr 16S, pyroséquençage, analyse des données). La caractérisation des souches isolées a été réalisée à l'aide de galleries API 50 CHL.

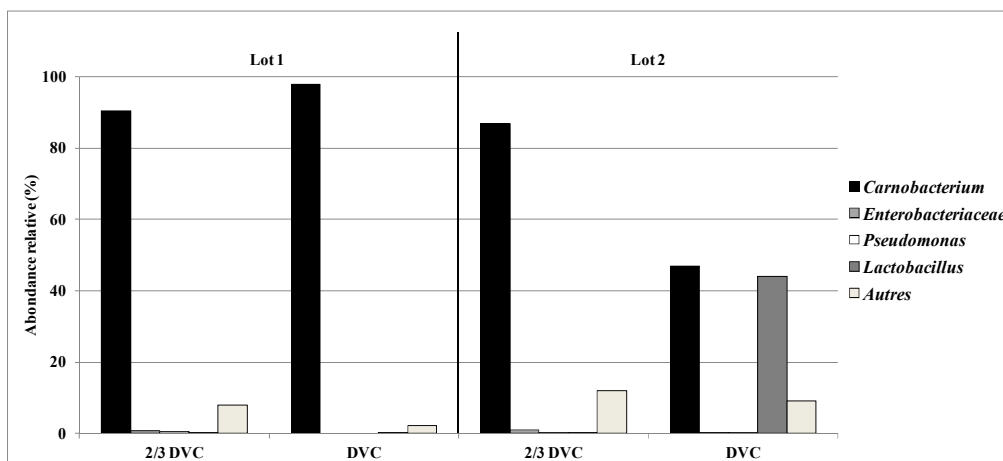
Résultats et discussion

Dénombrement des bactéries lactiques. Le nombre des bactéries lactiques des deux lots est resté sous le seuil de dénombrement, à savoir 2,0 log UFC/cm², pendant toute la période de conservation. La présence de bactéries lactiques

en grand nombre étant très probable dans ce type de viande (Dainty et Mackey, 1992), l'hypothèse qui a été émise est la présence, dans ces échantillons, de bactéries lactiques adaptées à des températures plus faibles que celle qui est appliquée (+22°C) au cours du processus analytique réalisé par le TEMPO®. Ceci est un exemple de biais qui peut être lié à l'approche analytique classique (culture/dénombrement) et qui peut être évité par l'approche métagénomique puisque celle-ci ne nécessite pas une phase de culture préalable.

Évaluation de la diversité bactérienne. Dans le but d'étudier l'écosystème microbien associé aux viandes étudiées et aux conditions de conservation qui leur ont été appliquées, une analyse par approche métagénomique ciblée a été réalisée. En raison du coût élevé de ce type d'analyse, un « pool » équimolaire de l'ADN extrait des 3 échantillons d'un même lot a été réalisé (figure 1).

Figure 1. Abondance relative de gènes d'origine bactérienne dans deux lots de viandes bovines conditionnées sous vide déterminée aux 2/3 (2/3 DVC) et à la fin (DVC) de leur durée de vie commerciale.



Il a été observé une faible diversité de la population bactérienne dans les deux lots étudiés, où on constate une prédominance des bactéries lactiques (en particulier des genres *Carnobacterium* et *Lactobacillus*) pouvant jouer un rôle bioprotecteur. Après une analyse plus approfondie des données, un seul génotype de *Carnobacterium* et de *Lactobacillus*, respectivement, a été plus souvent détecté sur les viandes, ce qui pourrait indiquer la présence d'une flore protectrice, ajoutée ou non.

Isolement et caractérisation des souches de *Carnobacterium*. A partir des suspensions-mère des échantillons homogénéisés dans de l'eau peptonée, des étalements sur gélose PCA ont été réalisés. Après 48 h d'incubation à +22 °C, 32 colonies ont été sélectionnées de manière aléatoire et deux isollements successifs sur gélose PCA ont été réalisés dans le but d'obtenir des souches pures. Les 32 colonies pures obtenues ont été caractérisées à l'aide de galeries API 50 CHL. Vingt-cinq isolats (78 %) ont été identifiés comme étant *C. maltaromaticum*, 1 isolat (3 %) a été identifié comme étant *C. divergens* et 6 isolats (19 %) n'ont pas pu être identifiés.

Conclusions

Les techniques classiques d'analyse microbiologique (par culture et dénombrement) ne permettant pas de mettre en évidence les microorganismes qui ne se développent pas sur le milieu utilisé et à la température employée, une évaluation de la diversité bactérienne par approche métagénomique a donc été envisagée. Cette approche permet de mettre en évidence une gamme plus large de bactéries présentes dans un aliment, ce qui constitue un avantage majeur. Ce travail a permis d'isoler et de caractériser sur galerie API 50 CHL *C. divergens* et *C. maltaromaticum*. Etant donné que ces isolats proviennent des viandes à très longue durée de conservation, il est fort probable qu'il s'agisse des souches ayant des propriétés bioprotectrices. L'étape ultérieure de cette étude consistera en réaliser une caractérisation génotypique et fonctionnelle des ces isolats.

Cette étude a été financée par la Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement (DGARNE) de la Région wallonne – Projet D31-1275.

- Castellano P., Belfiore P., Fadda S., Vignolo G., 2008. Meat Sci., 79, 483-499.
Dainty R.H., Mackey B.M., 1992. J. Appl. Bact., 73, 103S-114S.
Jeremiah L.E., Gibson L.L., 2001. Food Res. Int., 34, 815-826.
Hugas M., 1998. Meat Sci., 49, S139-S150.
Laursen B.G., Bay L., Cleenwerck I., Vancanneyt M., Swings J., Dalgaard P., Leisner J.J., 2005. Syst. Appl. Microbiol., 28, 151-164.
Leisner J.J., Greer G.G., Dilts B.D., Stiles M.E., 1995. Int J Food Microbiol, 26, 231-243.
Nieminen T.T., Vihavainen E., Paloranta A., Lehto J., Paulin L., Auvinen P., Solismaa M., Björkroth K.J., 2011. Int. J. Food Microbiol., 144, 360-366.
Nychas G.-J. E., Skandamis P.N., Tassou C.C., Koutsoumanis K.P., 2008. Meat Sci., 78, 77-89.

Alternatives aux stérilisateurs à 82°C: recensement et validation de méthodes

LE ROUX A.¹, CHRISTIEAN S.², HARDIT V.³, MINVIELLE B.¹

¹IFIP – Institut du porc, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35561 Le Rheu Cedex, France.

²ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, 63039 Clermont Ferrand Cedex 2

³IDELE - Institut de l'Élevage, route d'Epinay, 14310 Villers-Bocage

Abstract : Alternative systems to hot water at 82°C for the disinfection of tools in the meat industry

According to EU regulations, slaughterhouses and cutting plants “must have facilities for disinfecting tools with hot water supplied at not less than 82 °C, or an alternative system having an equivalent effect”. The aim of the present study was to identify and assess the effectiveness of alternative systems in controlled and field conditions. Several combinations of time and temperature (from 60 to 75°C and 10 to 60 s), and systems (immersion and sprayed water), were assessed on knives contaminated by bovine and porcine faeces and meat. The mean log reductions achieved in standardised conditions with naturally enriched faeces (*Enterobacteriaceae*) and meat (Aerobic colony count) were calculated for the alternative systems. The results for immersion at 75°C/15s and 70°C/30s, or water spraying at 75°C/10s, 70°C/20s, and 65°C/60s, were not statistically different from the reductions (3,3 to 4,3 log) obtained for the reference method of 82°C with a fixed exposure time of 10s, and should be thus considered as relevant alternative methods.

Introduction

Pour garantir la qualité hygiénique des produits issus des filières viande, les démarches impliquant le respect des règles d'hygiène de base, appelées aussi BPH, sont essentielles. En matière de maîtrise de l'hygiène des couteaux et du petit matériel en cours d'activité, l'immersion dans de l'eau à 82°C, pendant un temps non précisé, est la méthode de référence de la réglementation européenne mais aussi internationale depuis des décennies. La réglementation européenne permet néanmoins aux opérateurs de recourir à des méthodes alternatives, à condition de démontrer l'équivalence avec la méthode de référence. Dans ce contexte, la présente étude menée par l'ADIV, l'Institut de l'Élevage et l'IFIP a eu pour objectif d'identifier et d'établir l'équivalence de performance de méthodes alternatives aux stérilisateurs à 82°C, qui posent depuis de nombreuses années des problèmes de maintenance, de coût et de sécurité.

Matériels et méthodes

Afin de recenser les méthodes candidates, une enquête a été menée auprès de 200 entreprises d'abattage, et les dossiers des méthodes validées ou ayant fait l'objet d'une demande auprès de la DGAl analysés.

Parallèlement, des prélèvements sur 10 couteaux ont été réalisés en conditions industrielles dans 3 entreprises, dans le but d'estimer les niveaux de contaminations des couteaux en cours d'activité, selon le poste de travail (2 en abattoir et 2 en découpe), et le type de viande (bovine ou porcine). En abattoir, un couteau propre est utilisé sur une seule carcasse avant prélèvement pour le bœuf, alors que pour le porc, les prélèvements sont effectués après 5 et 10 carcasses ; en découpe le couteau est utilisé pendant une demi-heure avant prélèvement. L'intégralité de la lame du couteau est prélevée à l'aide d'une chiffonnette (3 passages sur les 2 faces, à pression constante ; mesure de la surface). Les résultats des dénombrements en entérobactéries (NF ISO 21528-2, sans confirmation) et de la Flore Aérobie Mésophile (NF EN ISO 4833) sont exprimés en ufc/cm² et transformés en log avant analyse statistique.

Pour les essais en conditions de contamination maîtrisée, l'objectif était d'avoir des dénombrements suffisants pour obtenir 3 à 4 réductions décimales. Pour chaque espèce, des matrices de viandes et de fèces ont été fabriquées puis naturellement enrichies par vieillissement, divisées en plusieurs lots, conditionnées sous vide puis congelées. Les essais ont été effectués à partir d'une même matrice décongelée, puis transférée sur 10 à 15 couteaux, des témoins étant réalisés pour vérifier la contamination initiale. L'efficacité (abattement) correspond à la différence entre les niveaux de contamination obtenus avant et après traitement (log ufc/cm²), pour chaque traitement et chaque flore.

Les données individuelles sont soumises à une analyse de la variance, avec comparaison de l'abattement de chaque traitement avec la référence (GLM, LSMEANS, test unilatéral de Bonferroni ; logiciel S.A.S. V9.02, SAS Institute).

Résultats et Discussion

L'analyse de la bibliographie et des résultats de l'enquête ont permis dégager 3 catégories de méthodes alternatives candidates : eau à une température inférieure à 82°C avec ou sans action mécanique ; solutions de type alcoolique (éthanol, isopropanol) et produits chimiques sans rinçage. Pour des raisons réglementaires et/ou techniques, les méthodes de type chimique, y compris celles à base de solutions alcooliques, ont été écartées du projet.

Les essais ont donc uniquement porté sur les méthodes physiques par immersion ou aspersion d'eau à des températures inférieures à 82°C, définies par un couple temps (seconde) - température (°C). En l'absence de durée indiquée pour la méthode de référence à 82°C, une durée de 10 secondes a été fixée, sur la base de la littérature scientifique (Snijders et al., 1985 ; Thiaudière, 1992, 1994 ; Eustace, 2005 ; Taormina et al., 2007 ; Goulter et al., 2008 ; Heres et Verkaar, 2011) et des pratiques des opérateurs pour les essais en conditions maîtrisées.

Les niveaux initiaux de contamination en flore aérobie mésophile (FAM) des couteaux en conditions industrielles vont de 1,4 à 4,3 log/cm² en abattoir et de 1 à 3,4 log/cm² pour la découpe pour les deux espèces, alors que ceux en entérobactéries (ENT) sont majoritairement inférieurs au seuil de dénombrement. Ces résultats indiquent que la contamination potentiellement apportée par les couteaux en conditions normales de production est limitée.

Ces faibles niveaux de contamination initiale des couteaux ont conduit à la mise au point pour chaque espèce d'une matrice de viande naturellement enrichie en FAM (à partir des viandes hachées) et une matrice de fèces naturellement enrichie en ENT (à partir de matières fécales), ainsi que d'un protocole de transfert sur couteaux. A l'issue de l'enrichissement et du transfert, des contaminations initiales de 4 à 4,5 log/cm² ont pu être obtenues.

Les essais ont porté sur 1500 couteaux environ : 5 traitements par immersion, et 4 traitements avec aspersion en utilisant 2 types de matériel ont ainsi été comparés à la méthode de référence.

Les abattements obtenus pour la méthode de référence sont de 3,3 log pour la viande de bœuf et de 3,7 log pour la viande de porc, et respectivement pour les fèces de bœuf et de porc de 4,3 et 3,8 log. Ces niveaux sont proches de ceux rapportés par la bibliographie pour cette température et cette durée avec des contaminations artificielles en E.coli sur viandes (Snijders et al., 1985 ; Eustace, 2005 ; Goulter et al., 2008).

De manière générale, quels que soient les espèces et le type de traitement, les abattements observés sont plus élevés sur fèces que sur viande. Ceci peut s'expliquer par les caractéristiques physiques différentes de la matrice et/ou de la flore, une seule flore étant recherchée par matrice. L'efficacité du traitement est significativement influencée par le type de matrice, l'espèce, le traitement et leurs interactions.

Les traitements dont les abattements sont non différents statistiquement de la méthode de référence sont les suivants : 75°C/15s et 70°C/30s par immersion ; 75°C/10s, 70°C/20s, et 65°C/60s par aspersion, pour les deux types de matériels testés.

Conclusion

Les essais réalisés dans cette étude ont permis d'établir des alternatives au stérilisateur à 82°C réglementaire, avec des couples de temps et de température de traitement permettant d'obtenir une efficacité non différente de la méthode de référence. Ces alternatives sont utilisables et compatibles avec les conditions de travail rencontrées dans l'industrie de la viande, limitent les inconvénients rencontrés à 82°C grâce à des températures plus faibles et des consommations d'eau réduites. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux précédemment publiés dans la bibliographie, et montrent par ailleurs que la contamination apportée en cours d'activité par les couteaux est faible.

Les solutions de types chimiques, en particulier à base de solutions alcoolique, utilisées sans rinçage, qui représentent un intérêt majeur pour les industriels pour contribuer à assurer l'hygiène des viandes mises sur le marché, restent des alternatives à tester et à valider.

Cette étude a été conduite avec le soutien financier d'Interbev, d'Inaporc et de FranceAgriMer.

Eustace I., 2005. Project PRMS.076, Review of application to Meat Standards Committee

Goulter R., Dykes G., Small A., 2008. Journal of Food Protection, Vol. 71, No. 7, Pages 1338–1342.

Heres L., Verkaar E., 2011. SAFEPORK, Proceedings-Orals.

Snijders J.M.A., and al., 1985. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abr. Orig. B181,121-131.

Taormina P., Dorsa W., 2007. Journal of Food Protection, Vol. 70, No. 3, Pages 648–654.

Thiaudière M., 1992. Viandes et Produits Carnés Vol.13(6).

Thiaudière M., 1994. Viandes et Produits Carnés Vol.15(4).

OUTILS DE LA GESTION DE LA QUALITE ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE : LE HACCP METHODOLOGIE ET IMPACTS.

LEZZOUM S.¹, BENEDDOUCHE B. ¹,

(¹) Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire El Harrach (Alger).

Abstract : Tools of the quality management and food security : the methodology and impacts HACCP

Food safety has become a global requirement, in effect with the internationalization of trade, the consumer is becoming more demanding in terms of quality and safety, awareness has increased particularly after the various health crises that have shaken the world.

To ensure the prevention of different types of hazards, the system HACCP is considered as one of the most effective tools, it is simple but specialized to identify the principal risks to food security during production and implement a system of assessment and hazard control. Since March 2010, its implementation has become mandatory in Algeria.

Our work involves the implementation of this system in a processing meat for this; we initially performed an evaluation audit in order to estimate the level of compliance infrastructure and system as already implemented. Then we proceeded to the implementation of HACCP in accordance with the principles advocated by the national and international

Introduction

La sûreté alimentaire est devenue une exigence mondiale ; en effet avec l'internationalisation du commerce, le consommateur devient de plus en plus exigeant en matière de qualité et de sécurité, sa prise de conscience a augmenté, particulièrement suite aux différentes crises sanitaires qui ont secoué le monde. La mise en du système HACCP est considérée comme une des méthodes contribuant dans de gestion de la qualité et de la sécurité des aliments.

Matériels et méthodes

Ce travail a été réalisé dans une entreprise de fabrication de viande élaborée.

L'étude s'est déroulée en deux étapes :

- La première porte sur la réalisation d'un audit initial d'évaluation.
- La deuxième porte sur la contribution à la mise en place du système HACCP suivant les recommandations du *codex alimentarius*, du décret exécutif n° 10-90 du 10 mars 2010 (JO N° 17) et du guide d'application Bonnes pratiques d'hygiène et HACCP (BONNE et al., 2010).

Audit initial

L'audit initial a pour objectif d'estimer le niveau de conformité des infrastructures et du système qualité déjà mis en œuvre. Il permet de faciliter la mise en place du système HACCP en relevant toutes les non conformités observées et en complétant les dossiers déjà existants. Un check liste a été établi conformément à la réglementation nationale et internationale.

Dans le but d'évaluer l'état d'hygiène au moment de l'audit ainsi que le degré d'application des bonnes pratiques, le check liste à été complété par :

- Des analyses de la qualité bactériologique de l'air en utilisant un aéro-biocollecteur ;
- Des analyses des surfaces, du matériel en contact avec le produit au cours de sa transformation et des mains des manipulateurs par ATPmètrie.

Mise en place du système HACCP

Comme le préconise le *codex alimentarius*, la mise en place du système HACCP repose sur l'application des 7 principes et 12 étapes.

La détermination des points critiques a été faite en appliquant 03 méthodes différentes : l'arbre de décision du *codex*, la méthode intuitive et la détermination des CCP à partir du diagramme de fabrication (*CODEX ALIMENTARIUS*., 2003 ; BONNE et al., 2010 ; JORA ., 2010).

Afin d'évaluer l'influence de la mise en place du système HACCP sur l'état global de l'hygiène et sur la qualité du produit fini, nous avons refait les mêmes analyses que nous avons réalisés au paravent au moment de l'audit et nous avons effectué une comparaison des résultats. Nous avons réalisé aussi un suivi de la qualité hygiénique du produit fini.

Résultats et discussion

Les résultats de l'audit ont révélés plusieurs non conformités relatives aux infrastructures et à l'application des différentes procédures. L'ensemble de ces non conformités a été pris en charge en réalisant un plan de rénovation et en éditant, complétant et appliquant toutes les procédures manquantes et en cours d'application.

Au cours de la mise en place du système HACCP, 04 points critiques ont été déterminés : la réception de la viande rouge congelée, le stockage de la viande rouge congelée, le hachage final et le stockage du produit fini.

Des seuils critiques ont été déterminés pour chaque CCP et des mesures correctives ont été prévues en cas d'apparition d'écart.

Les résultats des analyses effectués ont démontré une amélioration de l'état d'hygiène globale (surfaces, air et mains) ainsi que l'amélioration de la qualité microbiologique du produit fini (selon les cartes de contrôles réalisées).

Conclusion

Pour assurer la prévention des différents types de dangers, le système « HACCP » est un outil efficace, il est une méthode simple mais spécialisée qui permet d'identifier les principaux risques liés à la sécurité alimentaire.

La mise en place de ce système suivant les recommandations du *codex alimentarius* est loin d'être facile, car très peu de travaux de recherche concernant l'analyse de risque ont été réalisés par les autorités chargées de la réglementation ou par des équipes de recherches; cela est valable pour toutes les filières.

La réussite de la mise en place de ce système dépend non seulement de la volonté d'investissement, du respect scrupuleux de l'ordre et de l'application effective et efficace de chacune des étapes, de l'application des bonnes pratiques d'hygiène et des bonnes pratiques de fabrication, mais aussi de l'implication des autorités qui reste primordiale.

ASPEC., 2008 : La biocontamination - Salles propres, environnements maîtrisés et zones de confinement. Association pour la prévention et l'étude de la contamination. Edition ASPEC, 266 pages.

BONNE R., WRIGHT N., CAMBEROU L., BACCAS F., DOODY J., 2010 : guide d'application Bonnes pratiques d'hygiène et HACCP lignes directrices HACCP, BPF et BPH-, 115 pages.

BORNERT G., 2000 : La place des analyses microbiologiques de denrées alimentaires dans le cadre d'une démarche d'assurance-sécurité. Revue Médecine Vétérinaire, pages : 151, 8-9, 805-812.

CODEX ALIMENTARIUS., 2003 : code d'usages international recommandé - principes généraux d'hygiène alimentaire CAC/RCP 1-1969, Rév. 4 (2003), 29 pages.

JORA., 2010 : décret exécutif n° 10-90 du 10 mars 2010. Journal Officiel de La République Algérienne N° 17.

PRATIQUES ET CONDITIONS D'ABATTAGE DANS LA REGION ALGERIENNE

SADOUD M.

**Université H. Benbouali de Chlef, Faculté des sciences Agronomiques et Biologiques,
Chlef (02000), Algérie**

Abstract: PRACTICES AND CONDITIONS OF SLAUGHTER IN THE REGION OF ALGERIA

Slaughter in Algeria is carried out in infrastructures, called slaughterhouses and killings. The utilization rate of slaughter is still low compared to their ability, first, because of unregulated slaughter, then to poor infrastructure. Butchers remain the main clients of the slaughterhouse Chlef. The slaughterhouse is located near the cattle market, which facilitates the supply of animals. The objective through this analysis is to show the conditions and the practices in which the slaughter takes place in the region.

INTRODUCTION

Les abattages en Algérie se font dans des infrastructures publiques, appelées abattoirs et tueries. Le taux d'utilisation des abattoirs reste faible par rapport à leur capacité, d'abord, à cause des abattages non réglementés, puis à l'insuffisance des infrastructures. Les bouchers sont les principaux clients de l'abattoir de Chlef. Il est considéré comme important, situé tout près du marché aux bestiaux, ce qui permet de faciliter l'acheminement des animaux vers l'abattoir. L'objectif à travers cette analyse est de montrer quelles sont les conditions et les pratiques dans lesquelles se déroule l'abattage dans la région.

MATERIELS ET METHODES

Cette analyse est conduite à partir d'entretiens effectués avec le préposé de l'abattoir et les services vétérinaires de la région de Chlef, des statistiques agricoles du Ministère de l'agriculture et des travaux de recherches menés sur les viandes rouges en Algérie par Sadoud (1998, 2009).

RESULTATS ET DISCUSSION

Toute la viande destinée à la consommation pour la région de Chlef est soumise à l'inspection sanitaire des services vétérinaires. Elle fait appel à un examen visuel de la carcasse et des abats, à la fin des opérations d'abattage et avant le marquage, qui consiste à effectuer des incisions d'organes, portions dans la viande, fente et découpe avec le préposé. Il est procédé à des examens de laboratoire si la viande est jugée insalubre.

La sanction consiste à retirer du circuit commercial tout ou une partie de la carcasse ou des abats reconnus impropres à la consommation humaine. De ce fait, seul le vétérinaire est qualifié pour prononcer une saisie avec l'aide du préposé de l'abattoir. Généralement ce sont les foies et les poumons qui sont retirés du circuit et ces cas sont très répandus à l'abattoir de Chlef. Ainsi, d'autres cas apparaissent mais faiblement par rapport aux premiers tels que des cas de fasciolose, de tuberculose et de septicémies pour les deux espèces bovine et ovine. Les quantités de poumons et foies retirées du circuit commercial demeurent importantes et sont de l'ordre de 542 et 1057 kg, soient des taux de 80 et 57% respectivement pour l'espèce bovine et ovine. Ces produits sont selon le cas, soit destinés à l'alimentation animale, soit dénaturés et détruits. Le contrôle sanitaire de salubrité et de qualité est attesté après abattage par l'apposition des marques, estampilles sur les viandes destinées à la consommation humaine.

Après la pesée, les carcasses sont transportées ou évacuées directement dans le camion frigorifique de la municipalité qui est chargé de les distribuer aux boucheries de la région.

Tout le cinquième quartier est récupéré par les bouchers notamment la tête, les pieds, les abats blancs et abats rouges qui ne subissent aucun traitement. Les peaux et cuirs des animaux abattus sont vendus à des collecteurs privés qui se trouvent à côté de l'abattoir. La vente se fait au niveau de l'abattoir par les bouchers eux-mêmes à raison de 100 à 120 DA l'unité pour les ovins et 35 DA/kg pour les bovins.

Pour ce qui est du sang présenté comme un aliment de qualité (protéines de bonne qualité), cette matière n'est malheureusement pas utilisée et donc on assiste à d'importantes quantités qui sont rejetées.

Les prix pratiqués pour l'exécution du travail par les sacrificateurs au niveau de l'abattoir de Chlef, sont répartis comme suit :

Frais d'abattage (abattage, dépouillement, lavage des abats, contrôle vétérinaire, estampillage) sont à 200 DA/tête (2.1 €/ tête) pour l'espèce bovine et de 50 DA/tête (0.52 €/ tête) pour l'espèce ovine.

Le coût de la transformation d'une bête en carcasse, durant l'année 2007 (sont compris : taxes à l'abattage, coût d'abattage et frais de transport), s'élève à 1 375 DA/ tête (14.47 €/ tête) d'une bête de 150 kg pour l'espèce

bovine et 210.5 DA/tête (2.21 €/tête) d'une bête de 17 kg pour l'espèce ovine (Sadoud 2009). Alors qu'ils se situaient en 1996 aux environs de 800DA/tête (8.42 €/tête) pour l'espèce bovine et 140DA (1.47 €/tête) pour l'espèce ovine, soit une augmentation de 70% et 50% pour respectivement l'espèce bovine et ovine au bout de 10 ans (tableau) (Sadoud 1998). Il ressort que la taxe d'abattage perçue au niveau de l'abattoir est plus élevée, or cette augmentation ne s'est pas accompagnée par l'amélioration des conditions d'abattage au niveau de l'abattoir municipal selon les bouchers et donc des taxes plus élevées par rapport aux services offerts. Cette situation est refusée par ces derniers et donc entraîne une réduction de leurs marges, d'où on enregistre un taux d'abattage non contrôlé important. En effet, en 2007, environ 1572 tonnes de viande bovine et 773 tonnes de viande ovine sont le produit des abattages contrôlés alors que les abattages non contrôlés sont estimés à 596 tonnes de viande bovine et 1 356 tonnes de viande ovine. En conséquence, la production totale de la région s'élève à un total de 2 168 tonnes de viande bovine (dont 72.5% contrôlés) et 2 129 tonnes de viande ovine (dont 36.3 % contrôlés), ce qui est une perte économique importante à la collectivité et pour les abattoirs et des risques sanitaires lourds de conséquences. Le contournement du contrôle sanitaire permet aux différents abatteurs de comprimer les coûts et de sauvegarder leur marge de commercialisation. Cet abattage qui n'est pas contrôlé par les services vétérinaires, constitue un réel problème de santé publique. A cet effet, les services concernés doivent fournir les efforts en renforçant d'abord les structures de contrôle existantes en leur donnant les moyens de leur politique pour réduire ce phénomène. Ainsi, des campagnes de lutte contre l'abattage clandestin au niveau de certains marchés et améliorer le contrôle de la qualité des prestations fournies au niveau des abattoirs d'un côté et de l'autre côté, des services agricoles partie prenante dans le processus procèdent chaque campagne agricole à la vaccination du cheptel pour le prémunir contre les maladies, tel que la brucellose, la fièvre aphteuse, la rage et la bleu langue pour éviter la dissémination des maladies aux animaux et aux hommes.

Tableau : Coût de la transformation d'une bête en carcasse (en DA)

Coût de transformation	Taxe à l'abattage	Coût d'abattage	Frais de transport	Total
Carcasse bovine	975 (10.26 €)	200 (2.1€)	200 (2.1€)	1375 (14.47 €)
Carcasse ovine	111(1.16 €)	50 (0.52 €)	50 (0.52 €)	211 (2.22 €)

CONCLUSION

L'abattage dans la région, comme les circuits de commercialisation du vif, reste peu contrôlé, avec une prépondérance de l'abattage non contrôlés chez l'espèce ovine par rapport à l'espèce bovine. Cette différence trouve son explication dans la taille et le poids difficile à manœuvrer de la dernière espèce. Ainsi, les taxes d'abattages élevés poussent les différents abatteurs à contourner le contrôle sanitaire et leur permet de sauvegarder leurs marges de commercialisation. Ceci s'explique par l'existence d'une organisation artisanale prédominante dans la région. Le contrôle vétérinaire en vigueur se focalise d'avantage sur la conformité sanitaire des animaux pour une consommation saine. Pour cela, il faut améliorer les conditions d'abattage des tueries existantes et encourager la construction des abattoirs privés.

Ministère de l'agriculture, 2008

Sadoud M. 2009. 16^è Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France.

Sadoud M. 1998. Circuits de distribution des viandes rouges dans la région de Chlef. Thèse Magister, Département d'Economie Rurale, ENSA Alger.

Notes : 1€ = 95 DA

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES MOTIFS DE SAISIE DES VIANDES BLANCHES (POULET DE CHAIR) DANS DEUX ETABLISSEMENTS D'ABATTAGE DE LA REGION D'ALGER

REGGUEM S.¹, HAMDI TM.¹, ZENIA S.¹

¹ Laboratoire Hygiène Alimentaire et Système Assurance Qualité, École Nationale Supérieure
Vétérinaire d'Alger, BP 161 El-Harrach, Alger

Abstract: Contribution to the study of the motifs for seizure of white meat (broiler chicken) in two slaughter establishments of the Algiers region

The aim of our study is to determinate the nature and frequency of different motifs of seizure of poultry meat. The study was conducted from April to August 2011, in two slaughterhouses: one industrial and the other one traditional. The studied population consisted of 30 lots of animals slaughtered for each slaughter establishment and randomly selected. The epidemiological unit was the lot of animals slaughtered the same day, in the same slaughterhouse, from the same breeding, under the same transport conditions. The overall seizure rate at the industrial slaughterhouse was 3.55%, while for the traditional slaughter it was 1.36%. The main motifs were entered in descending order: the skin lesions, fractures with sero-hemorrhagic diffusion, fractures without contusions, cachexia, hematoma, congested meat, the bulb of the keel bone and the abscesses. We observed that the majority of lesions were due to mishandling, the poor conditions of welfare of animals.

Introduction:

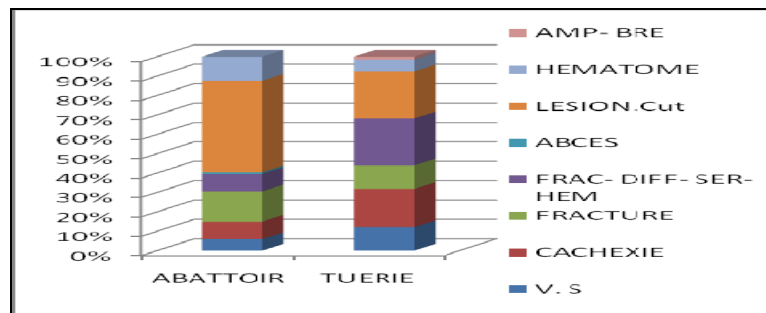
Le passage obligatoire des animaux par l'abattoir et leur inspection sanitaire systématique ont été déterminants dans la lutte contre les grandes maladies animales transmissibles à l'homme qui ont marqué l'histoire de la santé publique. Les conditions et modalités de l'inspection, celles de la salubrité et de la qualité des denrées animales ou d'origine animale, destinées à la consommation humaine, la détermination et la surveillance des conditions d'hygiène dans lesquelles ces denrées sont préparées et conservées, sont déterminées par voie réglementaire (Loi vétérinaire N° 88-08 du 26 Janvier 1988 et décret exécutif N° 95-363 du 11 Novembre 1995, JORADP, N°68).

Matériels et méthodes :

La population étudiée est composée de 30 lots d'animaux abattus pour chaque établissement d'abattage (abattoir, tuerie) choisis de façon aléatoire (min : 40 sujets, max : 1000 sujets) durant la période du 12/04 au 20/07/2011 au niveau de l'abattoir et du 25/04 au 24/08/2011 au niveau de la tuerie. L'unité d'étude est le lot d'animaux abattus le même jour, dans le même établissement d'abattage, provenant d'un même bâtiment d'élevage, dans les mêmes conditions de transport. Tous les animaux présentés à l'abattage sont soumis, individuellement et par lot, à une inspection ante-mortem et post mortem (Codex Alimentarius, 2005). L'inspection ante-mortem renforce l'inspection et le jugement post-mortem en examinant l'attitude, le comportement et l'apparence ainsi que tout symptôme pathologique de l'animal vivant. Le pourcentage de saisie sanitaire a été calculé pour chaque motif de saisie au niveau de chaque établissement d'abattage. Le traitement statistique des données et la comparaison entre les différents paramètres étudiés ont été effectués par application de deux tests non paramétriques, le test de Wilcoxon et le test de Mann-Whitney.

Résultats :

L'inspection ante mortem n'a pas fait ressortir de pathologies particulières sur la totalité des lots, mis à part des diarrhées et des sujets épuisés. Le pourcentage global de saisie sanitaire observé durant notre étude était élevé au niveau de l'abattoir(A) : 3.55 % (IC à 95% [0.033, 0.038]), par rapport à d'autres études réalisées dans le monde, alors que pour la tuerie(B) il était de 1.36% (IC à 95% [0.01, 0.017]) (Lupo C et al., 2007). De nos résultats nous avons déduit que le pourcentage de saisie varie d'un lot à un autre et d'un établissement à l'autre (Figure N°1). En effet au niveau de l'unité (A), ce pourcentage variait entre 0.30% et 11.4%, alors que pour l'établissement (B) il variait entre 0% et 11.66%. Nous avons constaté la prédominance des lésions cutanées (47.19 %) au sein de l'abattoir alors qu'elles représentent un taux de saisie équivalent avec le motif des fractures associées à une diffusion séro-hémorragique (24.24 %) au niveau de la tuerie. Pour les deux motifs viande sombre et fracture ; ils ont une répartition égale (12.12 %) au niveau de la tuerie, par contre le taux de saisie pour motif de fracture est plus élevé (15.57 %) que le motif viande congestionnée (5.97 %) à l'abattoir. En ce qui concerne la cachexie et les hématomes nous avons remarqué que : le motif de cachexie (19.70 %) est prédominant par rapport à celui des hématomes (6.06 %) au sein de la tuerie. Les motifs d'hématomes prédominent (12.41 %) par rapport à la cachexie (9.02 %) à l'abattoir. Les motifs ampoule du bréchet et abcès représentent les taux les plus faibles pour les deux établissements (abattoir et tuerie); ils sont de : 0 %, 1.52 % et 0.93%, 0 % respectivement.



V.S : Viande sombre, FRAC- DIFF- SER-HEM : Fracture avec diffusion séro-hémorragique, Lésion.Cut : Lésions cutanées, AMP- BRE : Ampoule du bréchet.

Figure N° 1: Motifs de saisie dans les deux établissements.

Discussion :

En Algérie l'ensemble des structures d'abattage (Tuerie, Abattoir) doit être agréé comme l'exige la réglementation algérienne (Circulaire n°039 du 24 Décembre 1988). La tuerie ne présente pas les bonnes conditions de travail ni d'hygiène comparée à celles retrouvées au niveau de l'abattoir industriel. Cette étude a montré que la majorité de ces saisies sont le résultat de la non maîtrise des paramètres d'élevage, exprimé par la prédominance des lésions cutanées (dermites de contact, kystes...) suivie des saisies relatives à la mauvaise manipulation des animaux et à la violence avec laquelle ils sont traités avant leur abattage, tel que : les fractures avec diffusion séro-hémorragique et les hématomes (Daquin S., 1987 et Lupo et al., 2007). De nombreux aspects des procédures d'abattage et d'habillage présentent d'importants risques de contamination de la viande, comme le plumage, l'éviscération, le lavage des carcasses et autres opérations de la chaîne du froid. Certaines saisies moins fréquentes, telles les fractures sans contusion sont dues au processus d'abattage. Le test statistique de *Mann-Whitney* a montré qu'il existe une différence significative entre le pourcentage de saisie global enregistré au sein de l'abattoir (3.55%) et celui de la tuerie (1.36%), ce qui s'explique par la qualité de l'inspection, méthodique et bien détaillée au niveau de l'abattoir malgré la quantité abattue, contrairement à l'inspection dans la tuerie. Le test statistique de *Wilcoxon* a été utilisé pour la comparaison détaillée des taux de saisies entre les deux établissements. Nous avons constaté qu'il existe une différence significative entre les deux établissements d'abattage pour chaque motif de saisie. Cette différence peut s'expliquer par la différence de la qualité des opérations d'abattage entre les deux unités.

Conclusion :

La variabilité observée du pourcentage de saisie conduit à confirmer la forte relation entre ce dernier et les facteurs d'élevage, les unités d'abattage et de transformation ainsi que la maîtrise des différentes opérations d'abattage. Les écarts sur les taux de saisies sont influencés non seulement par l'origine des animaux, en effet, nous avons noté que la majorité des sujets provenant des anciens bâtiments d'élevage ont un poids moyen vif (2.03Kg) inférieur aux animaux élevés dans des structures modernes et bien maîtrisées (2.45Kg), ce qui a abouti à une différence sur le plan qualitatif mais aussi sanitaire, certaines saisies étant liées aux conditions de vie des animaux (litière, hygrométrie...); mais également par la qualité de l'abattage. En effet, l'abattage automatique ou semi-automatique permet le bon déroulement, le contrôle efficace et la maîtrise de tout le processus (contaminations, brûlures...) contrairement à l'abattage traditionnel effectué au sein des tueries qui doivent être remplacées par d'autres unités bien équipées, développées et suffisamment grandes et proches des élevages pour éviter toutes les sources de stress (transport, chaleur, ...etc.) pouvant altérer la qualité du produit fini. La manipulation des animaux et la qualité du transport peuvent influencer l'état des sujets avant leur abattage, il faut donc donner beaucoup d'importance aux étapes en amont de la filière pour avoir un bon résultat en aval. La qualité de l'inspection sanitaire et qualitative de la viande est un paramètre très important pour pouvoir juger de la salubrité des sujets. Ce paramètre dépend des conditions d'abattage (lumière, présentation des sujets, quantité abattue...), de la compétence du vétérinaire et de l'existence ou non de textes réglementaires qui harmonisent les décisions des vétérinaires au niveau des différents établissements d'abattage. Ces différences représentent un écart de qualité dans certains cas et de sécurité dans d'autres, pour le consommateur.

En résumé la qualité du produit fini dépend étroitement de la maîtrise de tous les paramètres durant toutes les étapes en amont et en aval de la filière.

Circulaire N°039 du 24 Décembre 1988., DSV/MADR, 6.

Codex Alimentarius, 2005. Deuxième édition, Rome., 3, 5, 14-18,33-38.

Daquin S., 1987. Thèse de doctorat vétérinaire (ENV Alfort)., 20-31.

JORADP (Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire) n°68, Décret exécutif N° 95-363 du 11 Novembre 1995, 20.

Loi N° 88-08 du 26 Janvier 1988., 15.

Lupo C., Chauvin C., Balaine L., Petetin I., Péraste J., Le Telrouw EMC., Arnould C., Auperin B., Berri C., Le Bihan-Duval E., Lefevre F., Lensink J., Mounier L., 2007. INRA-Production animale. 20 (1).93-98.

EVALUATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DU DEGRE DE CONTAMINATION PAR LES *LISTERIA SPP.* DANS LES VIANDES BOVINES ET OVINES DANS LA WILAYA DE TIZI-OUZOU (ALGERIE)

ABA L.¹, HAMDI T-M.¹, LEBRES E.H.²

¹ Laboratoire Hygiène Alimentaire et Système Assurance Qualité, École Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger, BP 161 El-Harrach, Alger

² Institut Pasteur D'Algérie, Route du petit Staouéli, Dely-Brahim, Alger.

Abstract: Qualitative and quantitative assessment of contamination of beef and sheep meat in the wilaya of Tizi-Ouzou (Algeria) by *Listeria spp.*

Listeria monocytogenes is an emerging, ubiquitous and psychrotrophic bacteria. It is the source of foodborne listeriosis infection, which operates mainly in sporadic form cases, rarely as epidemics, but with very serious clinical forms, such as abortions, septicemia and meningoencephalitis, primarily in populations at risk. This bacteria is often found in meat (0% to 50%) and meat products (16%), it has not been detected in deep muscle tissue of animals, but it can be found in ground meat. The objective of our research is to establish the degree of contamination by *Listeria spp.* and *L. monocytogenes* in particular; fresh meat sold in butchers' shops in Tizi-Ouzou city, as well as in imported frozen meat.

Introduction

L. monocytogenes est une bactérie émergente, saprophyte ubiquitaire et psychrotrophe. Elle est à l'origine de la listériose infection d'origine alimentaire rare (Moll. M et Moll.N, 2002), qui évolue essentiellement sous forme de cas sporadiques, plus rarement sous forme d'épidémies, mais avec des formes cliniques très graves, telles que avortements, septicémies et méningo-encéphalites, principalement chez les populations à risque. Cette bactérie est souvent retrouvée dans les viandes (0% à 50%) et les produits carnés (16%) (Moll. M et Moll.N, 2002) ; elle n'a pas été détectée dans les tissus musculaires profonds des animaux, mais elle peut être retrouvée dans la viande hachée (Buncic et Avery, 1996). L'objectif de notre recherche consiste à établir le degré de contamination par *Listeria spp.* en général et *L. monocytogenes* en particulier, des viandes fraîches commercialisées dans les boucheries de la ville de Tizi-Ouzou, ainsi que les viandes congelées bovines importées.

Matériels et méthodes

De septembre 2010 à juin 2011, 510 échantillons ont été collectés, répartis entre 360 échantillons de viandes bovines et ovines fraîches locales, prélevés dans les boucheries de la Wilaya de Tizi-Ouzou et 150 échantillons de viandes bovines congelées désossées importées. La méthode d'analyse utilisée est la méthode horizontale ISO 11290-2.

Résultats

Globalement, *Listeria.spp* a été mise en évidence dans 23 cas (4,50%) : 7 cas de viandes bovines fraîches (5,83%), 5 de viandes bovines hachées (4,16%), 8 de viandes ovines fraîches (6,66%) et 3 cas de viandes bovines congelées désossées (2%). L'identification biochimique des 23 souches de *Listeria spp* a révélé : 8 souches de *L. monocytogenes*, 12 *L. innocua*, 1 *L. welshimeri* et 2 souches de *L. ivanovii*. La prévalence de *L. monocytogenes* dans les viandes bovines hachées à un taux de 1,66%. L'incidence de *L. monocytogenes* dans les viandes bovines congelées désossées est de 0,66%. Les dénombrements de *L. monocytogenes* représentés par les valeurs «N» obtenues lors de l'analyse des différents échantillons de viandes nous révèlent des valeurs comprises entre 10² et 2.10² UFC dans 25 g de produit. Ainsi, dans les viandes bovines et ovines fraîches, nous retrouvons 3 prélèvements pour lesquels les valeurs N sont supérieures à 100 UFC / 25 g de produit et 5 prélèvements avec des valeurs égales à 100 UFC / 25 g de produit.

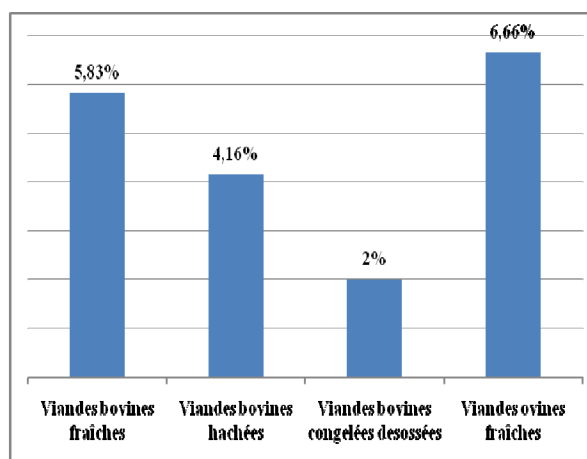
Discussion

Les viandes fraîches sont les plus contaminées (bovine : 2,5% et ovine:1,66%), ceci résulterait essentiellement de la contamination *post mortem* survenant à l'abattoir, que ce soit lors de l'abattage ou lors des opérations

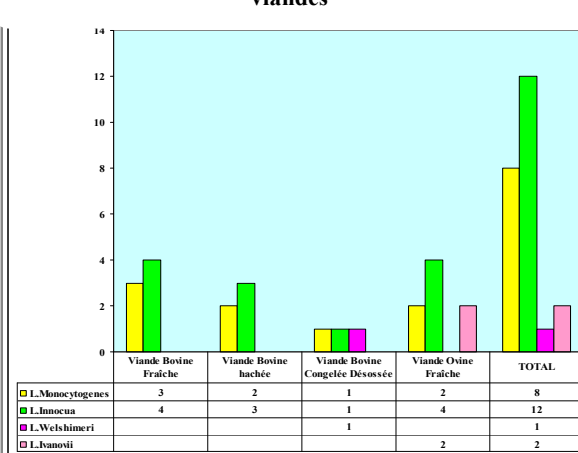
ultérieures (Larpent, 2004), nonobstant la contamination survenant au niveau des boucheries, lors de non respect et des bonnes pratiques d'hygiène et de la chaîne de froid. La viande bovine congelée désossée est la moins contaminée (0,66%), la présence de *L. monocytogenes* peut être consécutive à sa capacité de résister aux températures de congélation, elle reste viable même aux basses températures (Besnard et al, 2002). Selon Bornert (2000), ce pathogène psychrotrophe, met en place des systèmes d'adaptation au stress du froid pour minimiser les lésions causées par la congélation.

La viande hachée (1,66%) est considérée comme un produit à risque, car celle-ci coupée et broyée offre une surface aérée et énormément agrandie, ce qui permet aux bactéries notamment à *L. monocytogenes* de pénétrer à l'intérieur et de se multiplier rapidement. Christieans (2005) a montré que *L. monocytogenes* évolue très lentement dans les viandes hachées à la température de 2°C, alors que pour des températures de l'ordre de 7 à 8°C, il constate une augmentation significative de la population de *L. monocytogenes*. Le risque de contracter la listériose est évalué en fonction des résultats du dénombrement de *L. monocytogenes* et des populations susceptibles de consommer le produit. Les valeurs de « N » obtenues au cours de notre étude sont comprises entre 10² et 2.10² UFC dans 25g de produit. Bien que la dose infectante ne soit pas encore définie avec certitude, les 3 prélèvements avec des valeurs supérieures ou égales à 100 UFC/ 25g de produit pourraient représenter un risque, notamment pour les personnes à risque.

Prévalence des *Listeria* spp. dans les différentes catégories de viandes



Identification biochimique et dénombrement des souches isolées dans les différentes catégories de viandes



Conclusion

Notre travail confirme la présence de *L. monocytogenes* dans ces produits à des taux certes faibles mais non négligeables, ceux-ci demeurent en conformité avec la plupart des résultats rapportés par la littérature internationale. L'utilisation d'une méthode référencée et homologuée, basée sur le dénombrement nous a permis de classer les différentes catégories de viandes et de définir ainsi une situation allant de l'acceptabilité à celle présentant un danger réel ou potentiel.

BESNARD V., FEDERIGHI M., DECLERQ E., JUGIAU F., CAPPELIER J.M., 2002. Environmental and physico-chemical factors induce VBNC state in *Listeria monocytogenes*, Vet. Res. 33, 359–370.
 BORNERT G., 2000. Importance des bactéries psychrotrophes en hygiène des denrées alimentaires : synthèse scientifique, Revue Méd. Vét., 151 (11) 1003-1010.

BUNCIC S., AVERY S.M., 1996. Relationship between variations in pathogenicity and lag phase at 37°C of *Listeria monocytogenes* previously stored at 4°C. Lett. Appl. Microbiol. 23, 18-22.

CHRISTIEANS S., 2005, Viandes bovines et microorganismes pathogènes, Viandes et produits carnés, vol 23 (2) pp. 39-45.
 LARPENT J.P., 2004. Les listeria, Editeur : Tec & Doc Lavoisier; 3^{ème} édition, Collection : Monographies De Microbiologie; 1-239.

MOLL. M et MOLL.N, 2002. Sécurité alimentaire du consommateur. 2e édition Collection Sciences & techniques agroalimentaires, Lavoisier Techniques et Documentation, XXVI, 1- 442.

L'IMPACT DE LA CONGÉLATION DES VIANDES ROUGES À LONGUE DURÉE SUR LES MICROORGANISMES

ZIANI K.¹, KHALED MB.²

¹Département de biologie, université « Dr. TAHER Moulay » de Saida.

²Département de biologie, université « Djillali Liabès » de Sidi Bel Abbès.

Abstract: THE IMPACT OF THE LONG FREEZING OF RED MEAT ON MICROORGANISMS

Freezing is not considered in any way as a mean of destruction of microorganisms. This can explain the transmission of plenty of diseases of food from one country to another via frozen foods. Analysis of a boneless beef after one year of frozen storage at - 18 ° C, whose main objective was to determine the microbial load and possibly overall impact of this technological process on the presence of microorganisms (Gram + and Gram -) after refreezing, shows that the presence of bacterial load variable in their nature and distribution of the different categories of part analyzed. The microbiological analysis of 45 samples, using the international norms (ISO, NF V) showed a dominant flora of contamination which consists essentially of *Clostridium* and sulfite reducing. They represented the majority of flora (46%) with vegetative forms (17%) while 29% were spore forms. Total aerobic mesophile flora (FMAT) was 25%. The *Staphylococcus aureus* represented 21%. However, *Salmonella* was present as low percentages 8%. Finally Coliform and fecal bacteria were totally absent. In conclusion, even freezing is the best process for preserving meat, it can never be considered as the best way for destruction of all germs.

Keywords: meat, freezing, microorganism, public health.

Introduction

La production locale des viandes rouge en Algérie ne couvre pas la demande du marché intérieur, ce qui impose le développement du flux d'importation de viandes désossées congelées particulièrement bovines, dont les volumes sont accrus. (ONS, 2008). Cependant, ces pratiques de distribution à longue distance internationale ou nationale, sont la cause de la dispersion des agents pathogènes : *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, etc. qui sont souvent véhiculés par la viande elle-même, malgré que les maladies d'origines animales peuvent être détectées par une inspection ante ou post mortem. Alors que, les maladies d'origine alimentaire peuvent apparaître à partir des animaux sains (LARPENT, 1992). À cet égard nous avons fixé comme objectif la détermination de la charge microbienne de cette denrée alimentaire et éventuellement l'impact de la congélation sur la qualité microbiologique finale.

Matériels et méthodes

Chaque échantillon, provenant de chaque morceau, pèse entre 150 à 200 g et fut emballé dans un sac en plastique stérile, soigneusement scellé, étiqueté et envoyé directement au laboratoire. L'échantillon est placé dans une zone stérile à la manipulation, puis découpé à l'aide d'une lame chirurgicale stérile placée dans un bistouri. Puis la viande découpée en petit dés, placée dans un sachet « *Stomacher* » stérile, sera ensuite homogénéisée 1 à 2 fois pendant 1 à 2 minutes dans un homogénéisateur de type péristaltique. Dix (10) grammes de l'homogénat sont mis dans un autre sachet type « *Stomacher* » stérile contenant 90 ml de diluant PSE (Peptone, Sel, Eau). Le mélange sera homogénéisé pendant 1 à 2 minutes dans un « *Stomacher* ». La recherche et le dénombrement des germes sont effectués selon les normes suivant : (ISO 2293, 1988) pour la flore aérobie mésophile totale; (ISO 6888, 1983) pour le *Staphylococcus aureus*; (ISO 4832, 1991) pour les Coliformes totaux et fécaux ; (ISO 3565, 1974) pour les Salmonelles et la recherche des formes végétatives des *Clostridium* sulfitoréducteurs et les formes sporulés (Après un réchauffement au bain marie réglé à 80°C pendant 10 minutes) selon la méthode de routine qui utilise le milieu viande foie (VF). Les résultats recueillis de l'étude ont fait l'objet d'une analyse statistique et ce par l'emploi du programme statistique (StatView® 5.0, SAS Institute, Cary, USA).

Résultats

La présence des *Clostridium* sulfitoréducteurs est plus importante que celle des autres germes rencontrés. Dans les 46% des *Clostridium*, les formes sporulées représentent 25% et les formes végétatives 16%. Dans ce cas ces viandes normalement de qualité inacceptable du point de vue présence de ces germes selon le journal officiel de la république algérienne (JORADP N°35, 1998).

La numération de la FMAT indique un dépassement de critère « M = 5 log10 ufc/g » fixé par la réglementation algérienne dans un échantillon sur 9 échantillons analysés. Dans les autres échantillons, la qualité microbiologique est médiocre chez 4 sur 9 échantillons avec des valeurs qui varient entre « m » et « M » dont le m = 4 log10 ufc/g. Le reste, c'est-à-dire 4/9, est de « Qualité microbiologique acceptable », car les valeurs sont inférieures à « m » avec un minimum de 3,3 log10 ufc/g.

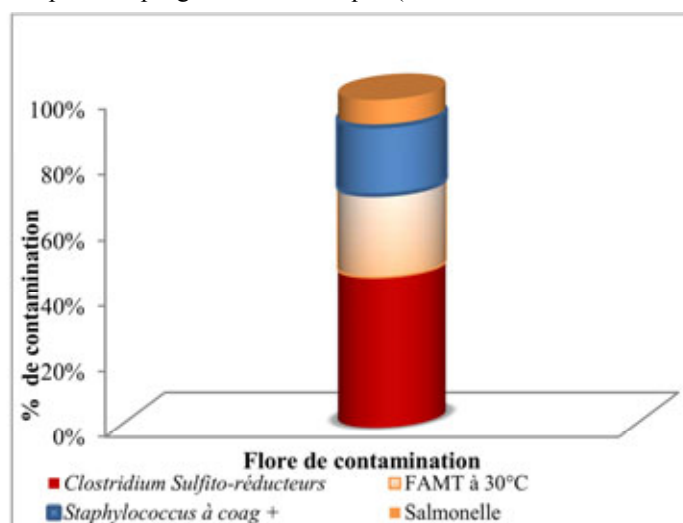


Figure 1 : Contribution des différents types de flores dans la contamination globale.

Les *Staphylococcus aureus* sont présents dans 15% des échantillons analysés, d'après le (JORADAP, 1998) la présence de ce germe pathogène dans les viandes ne dépassera pas la valeur de 3 log₁₀ ufc/g.

Durant cette étude, deux cas des salmonelles ont été enregistrés, tandis que la recherche des coliformes fécaux et totaux a donné des résultats nuls.

Discussion

L'importance de la présence des *Clostridium* sulfito-réducteurs, vue leur présence massive dans le sol, les flores commensales de l'homme, et les animaux (cuir, tube digestif, etc.) (Bonnefoy *et al.*, 2002). S'ajoute à ceci leur caractère résistant vis-à-vis de la congélation (Genot, 2000).

La numération de la FMAT indique le degré de contamination bactérienne globale des viandes selon Roberts (1980), en plus elle est utilisée comme méthode de contrôle de la qualité hygiénique des carcasses (Cartier, 1993).

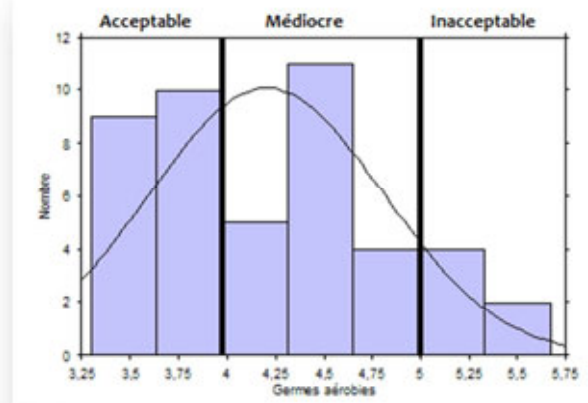


FIGURE 2 : Contribution de la FMAT sur l'ensemble des viandes analysées

L'effet bactéricide de la congélation était beaucoup moins marqué durant la conservation sur la FMAT. Quelques chercheurs (Regnault, 1990) affirment même que certaines bactéries croissent plus rapidement une fois décongelées que celles qui n'ont jamais subi de congélation. Cela n'est cependant pas encore approuvé par les données de la littérature. Quant les *Staphylococcus aureus*, ces microorganismes classés parmi les germes moyennement résistants à la congélation, mais leur toxine préformée peut survivre à la congélation (Drieux, 1976).

L'effet bactéricide de la congélation était beaucoup plus marqué sur les coliformes que les trois autres microorganismes (bactéries aérobies, *Clostridium* sulfitoréducteurs et *Staphylococcus aureus* à coagulase positive). Ces mêmes constatations ont été faites par les deux auteurs Rosset & Lebert (1976) qui ont remarqué que les bactéries à Gram négatif, notamment les germes de contamination fécale, sont classés parmi les bactéries les plus sensibles à la congélation et qui sont rapidement détruites, surtout avec des vitesses lentes de congélation.

La présence des deux cas des salmonelles dans cette étude, peuvent être expliqués par la résistance de ces germes à la congélation (Foster & Mead, 1976). Dans la viande hachée stockée 21 jours à -20°C, la survivance varie de 0,12 % à pH 4,5 jusqu'à 20% à pH 7,5 (Roberts, 1974).

Conclusions

Les résultats retenus montrent l'existence de différents microorganismes d'altération voir même pathogènes (Staphylocoques et les formes sporulées du *Clostridium*). L'effet bactéricide de la congélation était beaucoup moins marqué durant la conservation sur les germes à Gram positif, les bactéries à Gram négatif sont beaucoup plus sensibles que les bactéries à Gram positif.

Bonnefoy C., Guillet F., Leyral G. Doin. 2002. 247.

Cartier P. 1993. Viandes et Prod. Carnés. 14, 35-38.

Drieux H. 1976. Bull. Acad. Vet. Fr. 49, 263-274.

Foster & Mead. 1976. J. Appl. Bacteriol. 41, 505-510.

Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire N°35, 1998

Genot. 2000, INRA Editions, Paris. 90.

Larpen, 1992. Tec & Doc. Lavoisier. Paris.

ONS (Office National des Statistiques) 2008, http://www.ons.dz/them_sta.htm

Regnault, 1990. Éditions Décarie Vigot, Montréal. pp. 860.

Roberts, 1980. Roy. Soc. Health. J. 100, 3-9.

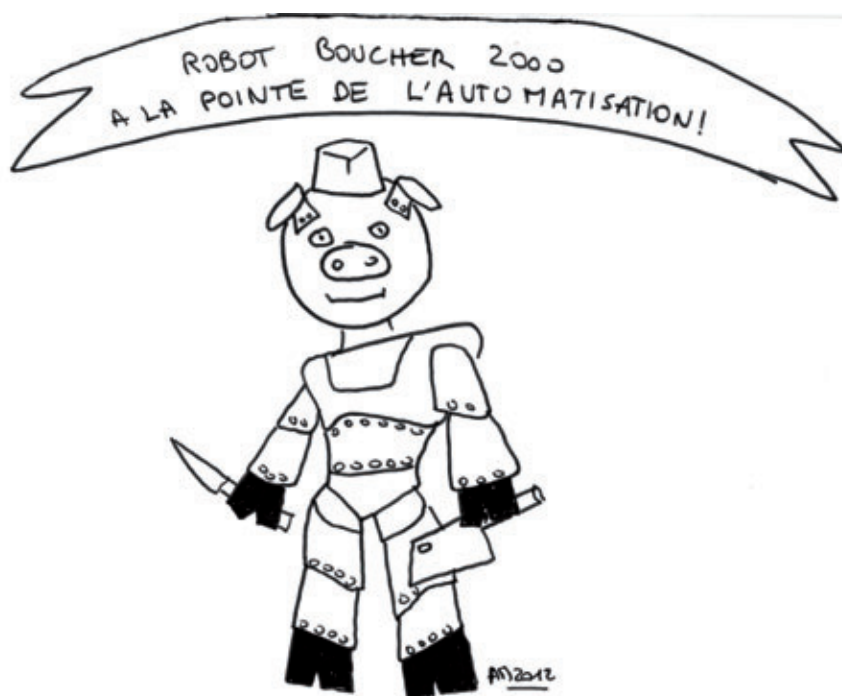
Roberts, 1974. why and how? M.R.I. Symposium 3. Langford. 1974; 20. 1-20

Rosset et Lebert, 1976. méd. nutr. 12, 367-372.



Session

Maîtrise des Procédés



MIRADE P.S.

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

Abstract: Reducing some ingredients in dry-cured meat products

Curing of meat is a conservation technique widely used since antiquity to prolong shelf-life. It consists in bringing together meat with a mixture containing sodium chloride and nitrate/nitrite. Sodium chloride affects the flavor, texture and helps to extend shelf-life of meat products. Animal fat mainly affects the flavor and texture, whereas nitrate and nitrite affect the color, flavor and give to cured meat products their typical taste. Excessive intake of sodium has been linked to hypertension and increased risk of cardiovascular diseases. Excessive intake of saturated fatty acids contained in pork fat, as well as nitrite intake, has been identified as factors promoting some cancers. Consequently there is an increasing demand from consumers and public authorities to remove as much these “ingredients” in processed meat and to develop healthier cured meat products. This paper reviews how and in what extend sodium and animal fat contents, and nitrite, can be reduced during the elaboration process of dry-cured hams and dry-fermented sausages.

Introduction

La fabrication de charcuteries sèches du type saucisson et jambon secs correspond à un procédé de conservation, universellement utilisée depuis l'Antiquité, qui permet de prolonger la durée de vie de ces produits alimentaires. Il consiste à mettre en contact des muscles entiers (jambon) ou des mélanges de viande maigre et de gras hachés (saucisson), avec un mélange salant, souvent constitué de chlorure de sodium (formule chimique : NaCl, appelé « sel » par la suite), de nitrite de sodium (formule chimique : NaNO₂, Conservateur E250, appelé « nitrite ») et de nitrate de potassium (formule chimique : KNO₃, Conservateur E252, appelé « nitrate »). Le mélange salant permet de préserver le produit des détériorations d'origine microbiologique (Leistner, 1986), du fait de l'effet barrière qu'il induit par l'abaissement de l'activité de l'eau (a_w). Il contribue aussi positivement aux qualités organoleptiques finales du produit séché/maturé, comme la couleur, la texture, la flaveur ou l'arôme. L'étape de salage est suivie, soit d'une étape de fermentation qui conduit à un abaissement du pH, dans le cas du saucisson, soit de repos à basse température (2 à 4°C) qui permet une homogénéisation du sel, dans le cas du jambon, puis toujours par une étape de séchage et de maturation qui permet le développement typique de l'arôme de ce type de viandes. Le procédé de fabrication des charcuteries sèches diffère selon les régions dans le Monde, mais aussi en Europe (Flores, 1997). En effet, dans les pays du Nord, les charcuteries sèches sont fabriquées avec des maturations courtes, ne reçoivent que du sel et du nitrite, et subissent, la plupart du temps, une étape de fumage. En revanche, dans les pays Méditerranéens, les temps de séchage/maturation sont beaucoup plus longs, le mélange salant est constitué de sel, de nitrate/nitrite et aucun fumage n'est pratiqué. Au final, les qualités organoleptiques et sensorielles des charcuteries sèches sont donc fonction, non seulement des qualités de la matière première et des ingrédients ou des additifs utilisés lors de la formulation, mais aussi des différents procédés de fabrication traditionnels existant dans chacune des régions du Globe (Guerrero *et al.*, 2009).

D'un point de vue nutritionnel, la consommation de charcuterie sèche doit rester modérée, du fait de teneurs élevées en sel et en gras, ce qui contribue à apporter une quantité importante de sodium (2^{ème} source derrière le pain), d'acides gras saturés et de calories dans l'alimentation. Par exemple, dans le cas du saucisson sec, la teneur finale en sel atteint 5%, et la teneur en gras est comprise entre 30% et 50% (Wirth, 1988). Dans le cas du jambon sec espagnol Serrano, le taux de sel exprimé par rapport à la matière sèche est compris entre 8% et 15%, en fin de séchage/maturation (Costa-Corredor *et al.*, 2009). Or, il a été clairement établi qu'une consommation excessive de sodium favorisait l'hypertension artérielle et augmentait les risques d'accidents cardiovasculaires et d'ostéoporose (AFSSA, 2002). Pour ces raisons, l'ensemble des organisations mondiales de santé humaine incite fortement les industriels à réduire les teneurs en sel, lors de la fabrication des produits alimentaires. L'Académie Nationale des Sciences, aux Etats-Unis, et l'AFSSA, en France, recommandent une consommation maximale de chlorure de sodium de 6 g par jour, ce qui impose de réduire de 50% la consommation actuelle des habitants dans des pays comme les Etats-Unis, l'Irlande ou la France (Desmond, 2006; AFSSA, 2008). Il est à noter que les viandes de porc, de bœuf, de mouton et de volaille contiennent naturellement de 50 à 80 mg de sodium par 100 g (Desmond, 2006). Une consommation excessive de matière grasse a été associée à un risque accru d'obésité, de cancers, d'hypercholestérolémie et de maladies coronariennes. De ce fait, les dernières recommandations nutritionnelles (Nishida *et al.*, 2004 ; WHO, 2003) préconisent de limiter la consommation de matière grasse, de façon à ce qu'elle ne représente pas plus de 30% des apports caloriques de la ration alimentaire, tout en étant équilibrée entre les acides gras saturés (moins de 10%), polyinsaturés (6 à 10%, avec idéalement 5 à 8% d' ω -6 et 1 à 2% d' ω -3), mono-insaturés (10 à 15%) et insaturés *trans* (< 1%).

Tout ceci montre l'absolue nécessité de développer des charcuteries sèches à teneurs réduites en sodium, en acides gras saturés, voire en nitrate/nitrite. Au travers d'exemples concernant le jambon sec (production de 47 752 t en 2011, en France) et le saucisson sec (107 265 t en 2011, en France), cet article se propose de faire le point sur les principales avancées technologiques réalisées ces dernières années, conduisant à l'élaboration de charcuteries sèches aux valeurs nutritionnelles améliorées.

Réduction/substitution du chlorure de sodium dans les charcuteries sèches

Bien qu'une consommation excessive de sodium soit néfaste pour la santé humaine, il n'en demeure pas moins vrai que le chlorure de sodium reste un ingrédient majeur dans la fabrication des charcuteries sèches, du fait de ses nombreuses fonctionnalités technologiques (Weiss *et al.*, 2010). Tout d'abord, le sel est un conservateur qui, selon sa concentration, limite ou stoppe les dégradations d'origine microbienne. Ensuite, le sel contribue à donner aux charcuteries sèches leur saveur caractéristique et joue un rôle prépondérant dans la texture finale des produits, notamment par son action sur la solubilisation des protéines myofibrillaires de la viande. Dans le cas du jambon sec, le sel détermine l'activité enzymatique au sein des muscles, en inhibant certaines protéases, comme les cathepsines ou les aminopeptidases, ce qui module la protéolyse (Toldrá & Flores, 1998). Aussi, l'élaboration de charcuteries sèches à teneur réduite en chlorure de sodium est loin d'être simple, vu le rôle majeur joué par le sel qui fait que, non seulement la saveur salée perçue diminue logiquement, mais aussi l'intensité de la saveur typique des produits séchés et maturés (Ruusunen & Puolanne, 2005). Les risques d'une réduction de la teneur en chlorure de sodium dans les charcuteries sèches sont une texture « molle », due à une protéolyse intense, qui entraîne une mauvaise tenue du produit, problématique au moment du tranchage, ainsi qu'une réduction de la saveur et de l'arôme typique de ces produits (Benedini *et al.*, 2012).

Plusieurs stratégies sont utilisables afin de réduire la teneur en sodium des charcuteries sèches. La plus simple consiste à réduire progressivement la quantité de sel lors de la fabrication, afin d'habituer petit à petit le consommateur, ce qui a été fait par beaucoup d'industriels ces dernières décennies. Dès 1982, il est indiqué qu'une réduction maximale de 25% de la teneur en sodium peut être réalisée dans la plupart des produits carnés transformés, sans modification préjudiciable de leur saveur, texture et durée de vie (Olson, 1982). Toutefois, peu d'études où seule une diminution de la quantité de chlorure de sodium ajoutée a été pratiquée, existent dans la littérature. Il convient, cependant, de citer les travaux suivants. Dans le cas de jambons de Parme, Benedini *et al.* (2012) ont constaté qu'une simple réduction de la teneur en sel de 5,5% à 4% (en masse totale) se traduisait par des modifications de texture, d'arôme et de goût. Toutefois, ils indiquent qu'avec une réduction de 25% les qualités organoleptiques sont préservées, à condition de rallonger le temps de maturation et de maîtriser la protéolyse. Dans le cas de jambons Corses de 18 mois d'âge, une réduction du temps de salage par enfouissement s'est traduite par une diminution de la teneur en sel, de 7,3% à 4,7%, mais aussi par l'apparition d'odeurs de rance et de beurre liées à l'oxydation des lipides, préjudiciables à l'acceptabilité finale du produit (Coutron-Gambotti *et al.*, 1999). Andrés *et al.* (2004) et Costa-Corredor *et al.* (2009) ont constaté une perte de saveur salée, d'arôme et une texture plus molle nuisibles à la qualité globale, respectivement, dans le cas de jambons Ibériques et de jambons Espagnols restructurés, ayant subi une réduction de 50% de la teneur en sel. Le même taux de réduction appliqué à des saucissons secs Portugais fumés s'est traduit systématiquement par des valeurs d' a_w et de pH significativement plus élevées, par des variations en termes de protéolyse, et au final, par des profils aromatiques différents (Roseiro *et al.*, 2008). Ces études montrent qu'il est très difficile de réduire de plus de 25% la teneur en sodium par la seule réduction de la quantité de sel ajoutée aux charcuteries lors de leur fabrication, sans engendrer des défauts de texture ou/et d'arôme. Selon Ruusunen & Puolanne (2005), dans les produits fermentés séchés, une réduction de la teneur en sodium ne peut être réalisée seule, car il est indispensable d'atteindre un niveau bas d' a_w , de façon à assurer la stabilité microbiologique de ces produits.

Une autre stratégie, très largement pratiquée, consiste à remplacer une partie du chlorure de sodium (NaCl) par des sels de substitution : chlorure de potassium (KCl), chlorure de calcium (CaCl_2), chlorure de magnésium (MgCl_2) ou lactate de potassium ($\text{C}_3\text{H}_5\text{KO}_3$), ce qui permet de réduire la teneur globale en sodium, tout en contrôlant l' a_w à l'intérieur des produits. Le tableau 1 liste les principaux essais pratiques relatifs à la substitution d'une partie du chlorure de sodium incorporé lors de la fabrication des charcuteries sèches. Le sel de substitution le plus employé est le chlorure de potassium, du fait d'un comportement similaire à celui du chlorure de sodium, en termes de solubilisation des protéines et d'inhibition de l'activité des protéases (Armenteros *et al.*, 2009). Son inconvénient majeur est qu'à concentration élevée, il génère une forte amertume et des goûts métalliques au sein des produits. Par exemple, Gou *et al.* (1996) ont mis en évidence un défaut d'amertume dans le cas de saucissons secs, dès un taux de substitution du chlorure de sodium par le chlorure de potassium de 30%, ce défaut restant néanmoins acceptable jusqu'à un taux de substitution de 40 à 50%. Ces mêmes auteurs ont aussi mis en évidence des défauts d'arôme et de goût pour des taux de substitution par du lactate de potassium et de la glycine égaux à 40%, ainsi qu'un manque de cohésion pour des taux de substitution par du lactate de potassium et de la glycine égaux à 30% et 40%, respectivement. Gelabert *et al.* (2003) ont sensiblement trouvé les mêmes résultats, avec l'apparition de défauts de saveur et de texture, à partir d'une substitution du NaCl égale à 40% pour le KCl, 30% pour le lactate de potassium et 20% pour la glycine. Ces auteurs ont également constaté que remplacer 40% à 70% du NaCl par des mélanges KCl/lactate de potassium et lactate de potassium/glycine n'avait aucun intérêt, compte tenu de l'ampleur des défauts de saveur et de texture constatés. Par contre, Ibañez *et al.* (1997) n'ont pas trouvé de différences significatives entre des saucissons fabriqués avec 3% de NaCl et des saucissons fabriqués avec 1,5% de NaCl et 1% de KCl. Dans le cas du jambon sec, Aliño *et al.* (2010) ont constaté que le remplacement partiel du chlorure de sodium par d'autres sels ralentit la baisse de l' a_w au sein du produit, ce qui nécessite de rallonger de 32% (si salage avec 50% NaCl + 50% KCl) et de 52% (si salage avec 55% NaCl + 25% KCl + 15% CaCl_2 + 5% MgCl_2) la phase de repos post-salage à basse température, pour obtenir des valeurs d' a_w semblables à celles des jambons témoins (100% NaCl), et ainsi, assurer la stabilité microbiologique de ces produits dans la suite du procédé de fabrication. Les auteurs expliquent ces différences par le fait que les cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}) resteraient principalement en surface du jambon, interagiraient avec les protéines, ce qui freinerait la diffusion des autres ions vers l'intérieur. Ces résultats ont confirmé ceux obtenus précédemment par Blesa *et al.* (2008).

Tableau 1. Principales études visant à réduire la teneur en sodium dans les charcuteries sèches (jambon et saucisson secs) par substitution d'une partie du chlorure de sodium incorporé lors de la fabrication.

Expériences de substitution	Type de charcuterie	Référence
50% NaCl + 50% KCl 55% NaCl + 25% KCl + 15% CaCl ₂ + 5% MgCl ₂	Jambon sec	Aliño <i>et al.</i> (2010) Armenteros <i>et al.</i> (2012) Armenteros <i>et al.</i> , sous presse Blesa <i>et al.</i> (2008)
30 g/kg NaCl remplacé par 15 g/kg NaCl + 19,7 g/kg C ₃ H ₅ KO ₃	Jambon sec restructuré	Costa-Corredor <i>et al.</i> (2009)
30 g/kg NaCl remplacé par 15 g/kg NaCl + 23,8 g/kg C ₃ H ₅ KO ₃	Jambon sec restructuré	Fulladosa <i>et al.</i> (2009)
50% NaCl remplacé par 50% KCl + [0%-1%] C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂ + [0%-0,03%] C ₁₀ H ₁₁ N ₄ Na ₂ O ₈ P + [0%-0,03%] C ₁₀ H ₁₂ N ₅ Na ₂ O ₈ P	Saucisson sec, Ø 60 mm	Campagnol <i>et al.</i> (2012a)
[30%-60%] NaCl + [0%-40%] KCl + [0%-30%] C ₃ H ₅ KO ₃ + [20%-30%] C ₂ H ₅ NO ₂	Saucisson sec, Ø 40 mm	Gelabert <i>et al.</i> (2003)
16 g/kg NaCl remplacé par 5,52 g/kg KCl + 4,64 g/kg CaCl ₂ + 2,35 g/kg MgCl ₂	Saucisson sec, Ø 60 mm	Gimeno <i>et al.</i> (1998)
16 g/kg NaCl remplacé par 5,52 g/kg KCl + 7,38 g/kg CaCl ₂	Saucisson sec, Ø 60 mm	Gimeno <i>et al.</i> (1999)
3 g/kg NaCl remplacé par 7,28 g/kg C ₁₂ H ₁₄ CaO ₁₂ 6 g/kg NaCl remplacé par 14,58 g/kg C ₁₂ H ₁₄ CaO ₁₂ 9 g/kg NaCl remplacé par 21,87 g/kg C ₁₂ H ₁₄ CaO ₁₂ 12 g/kg NaCl remplacé par 29,17 g/kg C ₁₂ H ₁₄ CaO ₁₂	Saucisson sec, Ø 60 mm	Gimeno <i>et al.</i> (2001)
Une partie du NaCl remplacé par [0%-60%] KCl + [0%-100%] C ₃ H ₅ KO ₃ + [0%-100%] C ₂ H ₅ NO ₂	Saucisson sec, Ø 40 mm	Gou <i>et al.</i> (1996)
50% NaCl + [0%-50%] KCl + [50%-0%] C ₃ H ₅ KO ₃	Saucisson sec, Ø 40 mm	Guardiá <i>et al.</i> (2008)
30 g/kg NaCl remplacé par 15 g/kg NaCl + 10 g/kg KCl	Saucisson sec, Ø 60 mm	Ibañez <i>et al.</i> (1996, 1997)

NaCl : chlorure de sodium ; KCl : chlorure de potassium ; CaCl₂ : chlorure de calcium ; MgCl₂ : chlorure de magnésium ; C₂H₅NO₂ : glycine ; C₃H₅KO₃ : lactate de potassium ; C₆H₁₄N₂O₂ : lysine ; C₁₀H₁₁N₄Na₂O₈P : inosinate disodique (exhausteur de goût) ; C₁₀H₁₂N₅Na₂O₈P : guanylate disodique (exhausteur de goût) ; C₁₂H₁₄CaO₁₂ : ascorbate de calcium ; Ø : diamètre.

Les principaux défauts générés par l'emploi de sels de substitution peuvent être corrigés par l'ajout d'exhausteurs de goût ou d'agents masquant, dont de nombreux types sont disponibles commercialement (Desmond, 2006). Par exemple, dans une étude récente, des saucissons secs ont été fabriqués, en remplaçant partiellement 50% du chlorure de sodium par du chlorure de potassium, auquel ont été éventuellement ajoutés de la lysine et des exhausteurs de goût (guanylate disodique et inosinate disodique) à hauteur de 600 mg/kg (Campagnol *et al.*, 2012a). La substitution seule du NaCl par du KCl n'a pas modifié, de manière significative, la fermentation et le processus de séchage ; par contre, des défauts d'arôme, de goût et de texture, et donc de qualité globale des produits, ont été décelés par le panel de consommateurs. L'ensemble de ces défauts a été ensuite corrigé par l'ajout combiné de lysine et des deux exhausteurs de goût. Cette étude démontre qu'il est donc possible, moyennant l'ajout d'exhausteurs de goût, de fabriquer des saucissons secs acceptables sur le plan sensoriel, dans lesquels la teneur en sodium a été réduite de 50%. Il est intéressant de souligner que, dans l'ensemble des études présentées dans cette partie, aucun problème sanitaire ou d'hygiène, lié à la croissance de micro-organismes indésirables, n'a été constaté.

Enfin, il serait également possible de moduler l'appréciation du goût salé, en modifiant la structure physique (taille et forme des cristaux) du chlorure de sodium (Desmond, 2006 ; Weiss *et al.*, 2010). Une réduction de la taille des cristaux de sels non dissous pourrait se traduire par une dissolution beaucoup plus rapide dans la bouche du consommateur, et donc, par une perception plus rapide et plus prononcée du goût salé du produit, même si la quantité globale de sel a été diminuée. Dans leur revue, Weiss *et al.* (2010) indiquent qu'un changement d'état physique du sel, d'une forme cristalline à une forme amorphe, permettrait de réduire, d'un facteur 20 à 100, la taille des particules de chlorure de sodium. Néanmoins, la perception du goût salé et la relation sel-cerveau qui en découle nécessitent des travaux de recherche additionnels, afin d'élucider les mécanismes et de trouver des parades « permettant de tromper le cerveau ». Par exemple, Lawrence *et al.* (2009) ont mis en évidence que certaines odeurs, bien choisies, permettraient de compenser les défauts liés à une réduction de la teneur en chlorure de sodium dans les produits alimentaires.

Réduction/remplacement de la matière grasse animale dans le saucisson sec

Du fait du séchage, les charcuteries de type saucisson sec ou salami peuvent contenir, au final, de 30% à 50% de matière grasse animale. Cette proportion de gras est un déterminant majeur des caractéristiques sensorielles (flaveur, texture, apparence) finales de ce type de produit. Elle constitue aussi, de toute évidence, un frein à la consommation par des personnes souffrant de maladies cardiovasculaires ou de surpoids (Weiss *et al.*, 2010). En 2003, l'Organisation Mondiale de la Santé a recommandé de réduire la consommation de matière grasse dans l'alimentation humaine (WHO, 2003). Outre la quantité, la composition qualitative de la matière grasse a aussi de fortes répercussions sur la santé humaine. La préservation d'une bonne santé cardiovasculaire impose une très faible consommation d'acides gras *trans* (< 1%) et un apport suffisant d'acides gras polyinsaturés (AGPI, de 6 à 10%) dans la ration énergétique journalière, avec comme autre contrainte, que ces AGPI se décomposent de manière équilibrée (ratio compris entre 1 et 4) entre des AGPI de type ω-6 (5 à 8%) et de type ω-3 (1 à 2%) (Nishida *et al.*, 2004). Or aujourd'hui, dans les pays Occidentaux, l'alimentation est pauvre en AGPI de type ω-3 et très riche en AGPI de type ω-6, ce qui donne un ratio ω-6/ω-3 compris entre 15 et 20, très loin de celui préconisé (Simopoulos, 2002).

Une réduction de la teneur en matière grasse animale dans le saucisson sec passe par une reformulation du produit. En effet, un produit composé de viande maigre, de matière grasse d'origine végétale plutôt qu'animale, et d'autres ingrédients du type substitut de matière grasse, associé à des conditions de fabrication adaptées, peut contribuer à modifier le profil lipidique et la concentration en matière grasse (Weiss *et al.*, 2010).

Une simple réduction de la teneur en matière grasse animale se traduit logiquement par une perte d'arôme, qui est souvent difficilement acceptée par le consommateur. A partir d'expériences portant sur des saucissons pour lesquels les teneurs en matière grasse étaient comprises entre 10% et 30%, Olivares *et al.* (2011) ont constaté que la réduction de la matière grasse freinait la lipolyse, l'oxydation des lipides et la formation des composés volatils qui en découlent. Leurs résultats ont aussi montré que l'acceptabilité du consommateur était positivement corrélée à des taux de matière grasse élevés et à des temps de maturation longs. Dans une étude précédente, Olivares *et al.* (2010) avaient déterminé que la limite entre acceptabilité et rejet par les consommateurs des saucissons secs allégés correspondait à une teneur initiale en matière grasse de 16%, ce qui autorise une réduction de 30% à 50% par rapport au standard de la profession. Lorenzo & Franco (2012) ont montré que des taux de gras élevés conféraient une couleur brillante et une texture plus souple, et favorisaient la production d'acides gras libres, dans le cas de saucissons fabriqués à partir d'un mélange de viande chevaline et de gras de porc (de 5 à 20%). D'autres investigations récentes visent à substituer une partie du gras animal par un gel de cellulose (tiré de fibres de maïs) ou de glucomannane de konjac (polysaccharide issu d'une plante originaire d'Asie du sud-est). Campagnol *et al.* (2012b) ont montré qu'il est possible de remplacer 50% du gras de porc par un gel de cellulose, sans nuire à la qualité des saucissons, et donc de fabriquer des produits ayant des teneurs en gras réduites de 45%. Malgré des différences de texture, des saucissons secs, dans lesquels 50% et 80% du gras de porc ont été remplacés par du gel de glucomannane, ont été jugés comme acceptables (Ruiz-Capillas *et al.*, 2012).

La consommation de fibres alimentaires est bénéfique pour la santé humaine, notamment par l'effet régulateur du transit intestinal. Beaucoup d'études récentes ont eu pour objectif de quantifier l'effet de l'ajout de fibres, comme ingrédient fonctionnel, sur les propriétés sensorielles et sanitaires de saucissons fermentés à teneur réduite en matière grasse. García *et al.*, (2002) ont étudié l'effet de l'ajout de fibres issues de fruits (pêche, pomme et orange) et de céréales (blé et avoine), à des concentrations de 1,5% et de 3%, sur les propriétés sensorielles de saucissons secs ne contenant initialement que 6% et 10% de gras de porc. Les meilleurs résultats sensoriels ont été obtenus pour les saucissons fabriqués avec 10% de gras de porc et 1,5% de fibres issues d'orange ; un ajout plus important de fibres conduit à des produits trop durs présentant des problèmes de cohésion. Ces résultats sont en accord avec ceux de Fernández-López *et al.* (2008) qui avaient montré que l'ajout de 1% de fibres d'orange lors de la fabrication de saucissons secs n'impactait pas négativement leur flaveur, permettait d'avoir un rôle protecteur vis-à-vis du rancissement et entraînait une diminution de la teneur résiduelle en nitrite. Mendoza *et al.* (2001) ont testé l'incorporation d'inuline en poudre et montré la faisabilité de fabriquer des saucissons secs, avec 40 à 50% de gras de porc en moins, 30% de calories en moins, mais enrichis de 10% de fibres alimentaires. L'ajout de fibres issues de carotte est aussi une possibilité, à condition de ne pas dépasser une concentration de 3%, sous peine d'avoir des problèmes dès la fermentation et d'obtenir des produits de très mauvaise qualité (Eim *et al.*, 2008). Enfin, Salazar *et al.* (2009) ont montré que l'ajout de fructo-oligosaccharides à chaîne courte, reconnus comme étant des prébiotiques, à des concentrations initiales de 2%, 4% et 6%, ne modifiait pas les qualités sensorielles des produits, tout en permettant de réduire jusqu'à 58% la teneur en matière grasse et d'introduire jusqu'à 8,7% de fibres dans le produit final.

L'incorporation d'huiles végétales, de poisson ou de micro-algues est également une piste technologique prometteuse pour améliorer le profil lipidique des saucissons, en augmentant la teneur en acides gras insaturés au détriment de celle en acides gras saturés. Parmi les huiles testées, il convient de citer l'huile de graines de lin, à hauteur de 3,3% (Ansorena & Astiasarán, 2004), d'olive, à hauteur de 20% (Muguerza *et al.*, 2002), de graines de soja, à hauteur de 20% (Muguerza *et al.*, 2003), de poissons désodorisée, à hauteur de 30% (Valencia *et al.*, 2006 ; Josquin *et al.*, 2012) ou de micro-algues, à hauteur de 15% (Valencia *et al.*, 2007). La plupart de ces huiles ont été incorporées sous la forme d'émulsions, voire sous forme micro-encapsulée, afin de faciliter le mélange avec la viande de porc hachée. Par contre, lorsque les concentrations et les taux de substitution deviennent trop importants, des défauts rédhibitoires surviennent lors de la fabrication, se traduisant notamment par des pertes « d'huile ». A dose d'incorporation modérée, variable selon l'huile utilisée, les saucissons obtenus présentent une augmentation très significative des fractions d'acides gras insaturés, ainsi qu'une forte réduction de la teneur en cholestérol, et donc une très nette amélioration de leurs qualités nutritionnelles (Muguerza *et al.*, 2004). Toutefois, les AGPI de ces huiles sont très sensibles à l'oxydation et leur incorporation nécessite l'ajout d'antioxydants. La tendance actuelle est à l'ajout d'antioxydants extraits de plantes, même si leur efficacité semble moindre par rapport à des antioxydants de synthèse, comme le butylhydroxyanisole (BHA) et le butylhydroxytoluène (BHT), qui eux sont suspectés de favoriser l'apparition de certains cancers. García-Iñiguez de Ciriano *et al.* (2009) ont testé avec succès la capacité d'extraits de feuilles de bourrache officinale (à une concentration de 340 ppm par kg) à retarder l'oxydation dans des chorizos de Pampelune enrichis en acides gras polyinsaturés de type ω -3, de par la substitution de 25% de la quantité de gras de porc par une émulsion d'huile de graines de lin. Dans le cas de saucissons secs turcs, Bozkurt (2007) a montré qu'à une teneur de 300 ppm par kg des antioxydants naturels du type huile de sésame ou huile de *Thymbra spicata* sont aussi efficaces que le BHT, quant à l'oxydation, et nettement plus performants, quant à la formation d'amines biogènes du type putrescine et histamine. Enfin, l'incorporation de carotène, par ajout de poudre de peaux de tomate jusqu'à 1,2%, a été testée avec succès dans du saucisson sec, et peut s'avérer être une bonne solution pour limiter l'oxydation des lipides, tout en permettant de valoriser un co-produit industriel (Calvo *et al.*, 2008). A ce titre, l'utilisation d'antioxydants tirés de la valorisation de co-produits industriels est à encourager, car cela s'inscrit pleinement dans une démarche de développement durable.

Réduction du nitrate/nitrite dans les charcuteries sèches

L'utilisation du nitrate dans les charcuteries remonte à des temps anciens. Les premières explications concernant son mode d'action ont été données à la fin du XIX^{ème} siècle. Dès 1901, Haldane (cité par Dabin & Jussiaux, 1994) fut le premier à rendre compte de l'effet du nitrite sur la coloration des viandes, qui se fait suite à la fixation du composé oxyde nitrique (NO) par la myoglobine. L'oxydation du fer et la liaison de l'hème à l'oxyde nitrique provenant de la réduction du nitrite conduit à la nitrosometmyoglobine, qui elle-même se réduit en nitrosomyoglobine donnant la couleur typique des charcuteries, stable aux faibles a_w . De plus, contrairement au nitrate, le nitrite a une action bactériostatique, voire bactéricide, notamment sur les *Clostridium* et les entérobactéries du type salmonelles et coliformes (Dabin & Jussiaux, 1994). Enfin, le nitrate et le nitrite participent au goût et à l'odeur caractéristique des produits de salaison. Le nitrite limite l'oxydation des lipides et retarde le développement du rancissement, et donc l'apparition de flaveurs indésirables lors du stockage (Weiss *et al.*, 2010). Tout au long de la fabrication des charcuteries sèches à long temps de maturation, le nitrate est un réservoir pour la formation de nitrite par action microbienne ; le nitrite est le composé actif dans le procédé de salaison (Sebranek & Bacus, 2007).

Toutefois, consommé à forte dose, le nitrite est toxique, car il transforme l'hémoglobine en méthémoglobine qui empêche tout transport d'oxygène vers les tissus du corps humain, ce qui conduit à une cyanose, si plus de 20% de l'hémoglobine est transformée (Durand, 1999). Le nitrite étant 10 fois plus toxique que le nitrate, les doses létales par voie orale pour les êtres humains s'établissent à 80-800 mg de nitrate/kg de poids corporel et 33-250 mg de nitrite/kg de poids corporel (Honikel, 2008). Outre cette toxicité directe, le nitrite peut aussi, indirectement, se combiner avec les amines provenant de la dégradation des protéines de la viande, par exemple lors de la protéolyse, pour former sous certaines conditions (température supérieure à 130°C, milieu acide) des nitrosamines, dont certaines d'entre elles sont reconnues comme étant des composés mutagènes, pouvant induire des effets carcinogènes (Jakszyn & Gonzalez, 2006). L'usage du nitrate/nitrite est donc réglementé dans de nombreux pays ; le nitrite ne pouvant d'ailleurs être employé que sous la forme de sel nitré (mélange de chlorure de sodium et de nitrite de sodium à une teneur inférieure à 1%). Depuis 2006, un maximum de 300 mg de nitrite et de nitrate par kg peut être ajouté aux produits de charcuterie non chauffés, destinés à être séchés et maturés. Cependant, il est généralement admis que, dans l'alimentation humaine, le nitrite est apporté majoritairement par les produits de salaison et que le nitrate est apporté principalement (70% à 90%) par les légumes et l'eau de boisson. Dans leur étude, Hsu *et al.* (2009) ont mesuré des concentrations en nitrate pouvant atteindre près de 5 000 mg/kg dans des épinards, alors que dans les produits carnés, la valeur maximale a été obtenue dans le cas de salamis, avec 140 mg de nitrate/kg. Ces auteurs ont mis en évidence des taux de nitrite ne dépassant pas 87 mg/kg et 23 mg/kg dans les produits carnés et dans les végétaux, respectivement. Outre l'apport exogène dû à l'ingestion directe de nitrite, le nitrate se transforme aussi en nitrite dans la cavité buccale et dans l'estomac de l'Homme (Duncan *et al.*, 1997), conduisant à une formation endogène de nitrite, qui peut finalement représenter la majeure partie du nitrite présent dans l'estomac. Du fait de l'acidité du milieu et de la présence de fortes quantités de nitrite, l'estomac constitue d'ailleurs un très bon réacteur pour la synthèse de nitrosamines. Or, l'exposition à des nitrosamines formées de manière endogène a été associée à un risque accru de cancers de l'estomac, de l'œsophage et de la vessie (Bartsch *et al.*, 1990). Par conséquent, bien que les taux résiduels de nitrate et de nitrite présents dans les charcuteries sèches ne présentent pas vraiment de problème, une forte pression existe dans l'opinion publique, afin de réduire au maximum, voire même de supprimer, l'emploi de nitrite dans les aliments. En 2014, une réglementation Européenne devrait interdire l'utilisation de nitrite dans la fabrication des produits carnés biologiques.

Comme dans le cas du chlorure de sodium, au plan technologique, la réduction, voire la suppression du nitrate/nitrite, ne va pas sans poser des problèmes, du fait des nombreuses réactions générées par la mise en contact du nitrite avec les différents composants de la matrice carnée. Du fait de la complexité du système réactionnel, Jiménez-Colmenero *et al.* (2001) précisent même qu'il est impossible de trouver un composé unique capable de remplacer l'ensemble des fonctions du nitrite. Seule une combinaison de plusieurs composés pourrait supplanter les effets positifs sur la couleur et sur l'arôme et le rôle antimicrobien et antioxydant joué par le nitrite. Pichner *et al.* (2006) ont confirmé que la suppression pure et simple du nitrate et du nitrite dans le cas de salamis, sans suffisamment de connaissance technologique permettant de corriger le procédé, conduisait à des produits de très mauvaise qualité sensorielle (décoloration du centre des produits) et microbiologique (survie de bactéries gram-). Un moyen de réduire l'ajout direct de nitrite et de nitrate est d'incorporer des poudres de légumes (céleri, betterave, poireau...) qui sont riches en nitrate. Cela impose d'ajouter des flores microbiennes pour assurer la réduction du nitrate en nitrite. Tsoukalas *et al.* (2011) ont montré que l'ajout de 0,84% de poudre de poireau, fournissant 75 mg/kg de nitrate, associé à 75 ppm de nitrite ne modifiait nullement les étapes de fermentation et de séchage et permettait de conserver les mêmes qualités organoleptiques et sensorielles, lors de la fabrication de saucissons secs. Cet ajout a permis de réduire de 50% l'emploi de nitrite et d'éliminer l'emploi de nitrate « chimique ». A partir d'un essai réalisé avec un dosage échelonné de nitrate, Schlüchter *et al.* (2010) ont montré que, lors de la fabrication de salamis, le salpêtre, source de nitrate, pouvait être partiellement remplacé par de la poudre de légumes, sans problème microbiologique particulier. Cependant, des teneurs élevées en poudre de légumes ont réduit l'aptitude au pelage et augmenté la consistance des salamis. Outre le fait de réduire directement la quantité de nitrate ou/et de nitrite ajoutée lors de la fabrication, une voie possible serait d'intervenir directement sur la chaîne de réactions conduisant à la formation des nitrosamines, en utilisant des antioxydants : vitamine C, polyphénols, ascorbate, erythorbate (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001 ; Toldrá & Reig, 2011). S'agissant du sujet nitrate/nitrite dans les charcuteries sèches, il convient de parler de la fabrication du jambon de Parme qui semble paradoxale, dans la mesure où seul du chlorure de sodium est ajouté lors de sa fabrication, sans qu'aucun

problème microbiologique ni défaut de coloration ne surviennent. En effet, aucun nitrate, ni aucun nitrite, ne sont ajoutés au chlorure de sodium et pourtant, la coloration du jambon de Parme est d'un rouge brillant, très stable. Wakamatsu *et al.* (2004) ont suggéré que cette couleur proviendrait de la protoporphyrine-zinc IX (ou ppz), dans laquelle l'atome de fer de l'hème aurait été remplacé par un atome de zinc, dont la viande de porc est riche. L'enzyme zinc-chelatase semble être impliquée dans cette réaction, en catalysant la substitution du fer par le zinc ; l'activation de cette enzyme serait accrue par la présence de sel (Benedini *et al.*, 2008). En 2007, Wakamatsu *et al.* (2007) ont précisé qu'il s'agissait plutôt de l'insertion d'un atome de zinc directement dans la protoporphyrine. Récemment, Wakamatsu *et al.* (2010) ont mis en évidence que l'ajout de nitrite dans les charcuteries, de par la formation d'oxyde nitrique (NO), inhibait la formation de protoporphyrine IX, précurseur du complexe protoporphyrine-zinc IX. Ce mécanisme expliquerait pourquoi le complexe 'ppz' n'existerait qu'en faible quantité dans les produits de salaison dans lesquels du nitrite a été incorporé, à la différence du jambon de Parme (Adamsen *et al.* 2006).

L'utilisation de nitrate/nitrite dans la fabrication des charcuteries sèches reste très controversée. Faut-il interdire l'usage de ces substances, compte tenu de la toxicité du nitrite ? Ou faut-il continuer à autoriser leur usage en quantité très limitée, compte tenu des nombreux effets positifs sur les qualités sensorielles et sanitaires des charcuteries ? Les questions restent posées, d'autant que plusieurs études récentes (Hammes, 2012 ; Lundberg *et al.*, 2011 ; Milkowski *et al.*, 2010 ; Parthasarathy & Bryan, 2012) tendent à souligner le bénéfice pour la santé humaine de la consommation de nitrate/nitrite ; ces composés sont à l'origine de la formation d'oxyde nitrique, dont il a été démontré médicalement qu'un déficit pouvait être à l'origine de plusieurs maladies. Lundberg *et al.* (2011) vont même jusqu'à spéculer sur le nitrate/nitrite, en disant que « nous devons revoir notre façon de penser et arrêter de voir le nitrite comme une menace pour la santé humaine ; dans un futur proche, nous le considérerons même comme un nutriment essentiel à notre alimentation ». Parthasarathy & Bryan (2012) concluent leur synthèse, en indiquant que le fait d'avoir classé le nitrite comme « cure agent » ('*curare*' en latin signifiant 'soigner') va trouver, très prochainement, sa pleine signification...

Discussion : vers des charcuteries sèches à plus forte valeur nutritionnelle ?

La réduction de la teneur en sodium des charcuteries sèches, associée à une réduction de leur teneur en matière grasse animale, contribuent, de toute évidence, à améliorer leur valeur nutritionnelle. Même si les moyens d'action semblent plus limités que dans le cas des charcuteries cuites du type saucisse de Francfort, plusieurs études ont été conduites ces dernières années pour améliorer le profil nutritionnel des charcuteries sèches (saucisson, salami), en modifiant leur profil lipidique ou en incorporant des fibres alimentaires ou des antioxydants. Des saucissons secs, dans lesquels des probiotiques ont été ajoutés, ont même été produits, avec succès (Klingberg *et al.*, 2005). Plusieurs revues récentes traitent donc de ce sujet (De Vuyst *et al.*, 2008 ; Jiménez-Colmenero, 2007 ; Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001 ; Muguerza *et al.*, 2004 ; Toldrá & Reig, 2011 ; Weiss *et al.*, 2010). Par contre, à chaque incorporation d'élément ou à chaque modification des teneurs en sodium ou en gras, il est indispensable d'évaluer les conséquences de ces changements sur les qualités organoleptiques, sanitaires et sensorielles des « nouveaux » produits. Or la plupart du temps, l'ensemble des qualités de ces nouveaux produits doivent correspondre à celles du produit non modifié, alors que des différences existent sur le plan de la saveur typique. Il n'est donc pas évident que cela soit la meilleure façon de favoriser la mise sur le marché de produits de charcuterie aux qualités nutritionnelles améliorées.

Très peu d'études combinant réduction du sodium et du gras animal dans les charcuteries sèches fermentées existent, sûrement à cause du fait que ces deux réductions combinées se traduisent par une perte importante d'arôme et du goût typique des salaisons. Citons les travaux de Beriain *et al.* (2011), relatif au chorizo de Pampelune, visant à quantifier l'effet d'un remplacement de la moitié du gras de porc par une émulsion à base d'eau, d'huile d'olive et d'alginate, ou de l'incorporation d'inuline et la substitution de 58% du chlorure de sodium par 20% de chlorure de potassium et 38% de chlorure de calcium. Ces essais ont montré que l'incorporation d'huile d'olive sous forme d'émulsion, associée à la réduction de 58% du chlorure de sodium, n'ont pas posé de problème de fabrication, vu qu'aucune évolution anormale de pH ou de population microbienne n'a été constatée. Les chorizos contenant de l'alginate se sont révélés plus brillants et plus durs que les chorizos traditionnels, sauf ceux contenant aussi 6% d'inuline. En combinant l'incorporation d'une émulsion à base d'alginate et d'huile d'olive avec celle d'inuline, il est donc techniquement possible de fabriquer des chorizos, ayant un meilleur profil nutritionnel que ceux fabriqués de manière traditionnelle.

Dans le cas du jambon sec, dont la fabrication dure de 6 à 24 mois, et plus dans certains cas, le produit est traité dans son entier et salé en surface. Le seul moyen d'action réside en une réduction de la teneur en sodium, au profit d'une augmentation de la teneur en potassium, voire en calcium. Toutefois, les modifications de procédés sont faites avec prudence, étant donné que certaines études (Blesa *et al.*, 2008 ; Aliño *et al.*, 2010) ont montré que le simple fait de substituer environ 50% du chlorure de sodium par d'autres sels imposait d'augmenter de 30% à 50% la durée de la phase de repos post-salage pour contrôler la réduction de l'activité de l'eau. Dans cette optique de réduction de la teneur en sodium des jambons, la tomographie X est un outil intéressant pour suivre en continu, de manière non invasive, les transferts de sel et d'eau, tout au long du procédé de fabrication : Santos-Garcés (2012) et Santos-Garcés *et al.* (2011) ont montré que les teneurs en eau et en sel, ainsi que l' a_w , pouvaient être estimées à différents stades de fabrication de jambons secs, à partir d'images 3D obtenues au moyen d'un tomographe à rayons X. Enfin, en favorisant la formation du complexe protoporphyrine-zinc à l'origine de la couleur rouge, stable, typique des jambons de Parme, l'incorporation de nitrate/nitrite pourrait être également supprimée dans les autres types de jambons secs.

Selon Heaney & Barger-Lux (1991), les produits carnés transformés pourraient devenir une source d'apport de calcium dans l'alimentation, vu qu'ils sont consommés par toutes les tranches d'âge de la population. Sur cette base, Gimeno *et*

al. (2001) ont expérimenté l'ajout d'ascorbate de calcium (de 26% à 50% par rapport aux apports journaliers recommandés) dans des saucissons secs, avec l'objectif de réduire la teneur en chlorure de sodium (de 15% à 45%) de ces produits. Leurs travaux ont montré que l'utilisation d'ascorbate de calcium était un moyen efficace pour réduire la teneur en sodium dans les saucissons secs, tout en les enrichissant en ascorbate et en calcium ; par contre, aucun test sensoriel n'a été pratiqué sur ces produits. Plusieurs études récentes conduites sur des rats (Corpet, 2011 ; Pierre *et al.*, 2008) tendraient à démontrer l'effet bénéfique d'une consommation de calcium (sous forme de carbonate de calcium) simultanément à celle de viande rouge, afin de réduire les risques de carcinogénèse du colon. Toutefois, le calcium piégeant le fer héminique, cela peut poser un problème, vu que le déficit en fer est un désordre nutritionnel très fréquent dans certaines tranches de la population (femmes enceintes...). Pour éviter de trop piéger de fer héminique, tout en réduisant les risques de carcinogénèse, une autre voie d'action serait de limiter la peroxydation lipidique et la formation de nitrosamines, en incorporant dans les aliments des antioxydants (Corpet, 2011).

La réduction des teneurs en sel et en matière grasse animale dans les charcuteries est un sujet d'actualité dans le monde de la recherche. A ce propos, il convient de citer, plus particulièrement, deux projets. Le premier projet d'envergure nationale (projet « Na⁺ »), financé par l'Agence Nationale de la Recherche, vise à réduire la teneur en chlorure de sodium dans deux produits de charcuterie que sont le jambon cuit et le jambon sec. Il associe 6 partenaires : l'INRA-QuaPA, l'Université Blaise Pascal, l'Anses, l'ADIV, l'IFIP et la FICT. Ce projet a pour objectif pratique le développement d'outils basés sur la modélisation, permettant d'aider les professionnels désirant mettre au point des produits de type jambon, allégés en chlorure de sodium. Cette démarche est assurément une démarche d'avenir pour faciliter le développement de nouveaux produits allégés. Le second projet, d'envergure européenne, a pour acronyme TeRiFiQ. Il va étudier les effets d'une réduction du sel, du gras et du sucre, de manière combinée, dans des produits alimentaires de grande consommation : les fromages, les produits de charcuterie (saucisse de Francfort, saucisson sec), les viennoiseries (muffin) et les sauces. Concernant le saucisson sec, l'ADIV et l'INRA-QuaPA étudient la faisabilité de réduire la teneur en sel par deux approches technologiques visant à réduire préalablement l' a_w , à savoir un pré-séchage de la matière première et/ou l'ajout de molécules chimiques ayant un effet dépresseur sur l' a_w . Concernant la réduction de la teneur en matière grasse animale, la faisabilité de substituer une partie de cette matière grasse par de la matière grasse végétale cryo-cristallisée sera testée. De plus, l'impact d'une réduction combinée des teneurs en sel et en matière grasse sur les transferts d'eau et de sel, ainsi que sur les composés aromatiques produits, sera évalué. Un appareil de laboratoire spécifiquement développé pour suivre l'évolution dynamique du flux d'eau évaporé et de l' a_w moyenne en surface des produits au cours de la fabrication (Le Page *et al.*, 2010) sera mobilisé. En parallèle, la production des composés volatils sera suivie, afin d'identifier les composés 'odeurs-actifs' et leurs origines biochimiques.

Conclusion

La consommation de produits carnés, dont les charcuteries sèches font partie, présente un intérêt nutritionnel certain, compte tenu du profil en acides aminés essentiels des protéines qu'ils contiennent, qui est bien équilibré et voisin des besoins de l'Homme (Patureau-Mirand & Rémond, 2001). La réduction dans les charcuteries sèches des teneurs en sodium et en acides gras saturés, la suppression éventuelle de l'ajout de nitrate/nitrite et de ce fait, le développement de charcuteries sèches à plus forte valeur nutritionnelle, sont au cœur des problématiques actuelles des professionnels (fabricants, technologues, chercheurs, ingénieurs...) de la viande. Cela semble être une voie indispensable, en vue de redorer l'image de la charcuterie dans l'opinion publique, d'autant plus que beaucoup de consommateurs sont prêts à accepter des produits de salaison allégés en sel, en matière grasse, et sans nitrite (Guàrdia *et al.*, 2006). Connaître ce que l'on mange, manger varié et équilibré, mais avec modération, sont des éléments essentiels en matière d'alimentation et de nutrition humaine. Si avoir une alimentation équilibrée relève de la responsabilité du consommateur, l'industrie alimentaire, et donc l'industrie de la viande, doit être capable de mettre à la disposition des consommateurs une gamme variée de produits répondant à cette demande. Ceci ne sera possible que si une approche multidisciplinaire entre les scientifiques (sciences alimentaires, génie des procédés, modélisation, microbiologistes, biochimistes, toxicologues, nutritionnistes...), les professionnels et les technologues de la charcuterie, est mise en place. Le développement d'outils informatiques d'aide à la décision, du type de ceux qui seront mis au point dans le projet Na⁺, seront précieux car ils permettront de prospecter de nombreux scénarii de fabrication, en complément des expérimentations.

- Adamsen C.E., Møller J.K.S., Laursen K., Olsen K., Skibsted L.H., 2006. *Meat Sci.*, 72, 672-679.
 Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, 2002. Rapport sel : évaluation et recommandations, Paris.
 Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, 2008. Présentation de l'étude INCA 2, Paris.
 Aliño M., Grau R., Fuentes A., Barat J.M., 2010. *J. Food Eng.*, 99, 198-205.
 Andrés A.I., Cava R., Ventanas J., Thovar V., Ruiz J., 2004. *Meat Sci.*, 68, 45-51.
 Ansorena D., Astiasarán I., 2004. *Food Chem.*, 87, 69-74.
 Armenteros M., Aristoy M.C., Toldrá F., 2009. *Eur. Food Res. Technol.*, 229, 93-98.
 Armenteros M., Aristoy M.C., Barat J.M., Toldrá F., 2012. *Meat Sci.*, 90, 361-367.
 Armenteros M., Toldrá F., Aristoy M.C., Ventanas J., Estévez M., J. Agric. Food Chem. (2012), doi:10.1021/jf3013772.
 Bartsch H., Ohshima H., Shuker D., Pignatelli B., Calmels S., 1990. *Mutat. Res.*, 238, 255-267.
 Benedini R., Raja V., Parolari G., 2008. *LWT-Food Sci. Technol.*, 41, 1160-1166.
 Benedini R., Parolari G., Toscani T., Virgili R., 2012. *Meat Sci.*, 90, 431-437.
 Beriain M.J., Gomez I., Petri E., Insausti K., Sarriés M.V., 2011. *Meat Sci.*, 88, 189-197.
 Blesa E., Aliño M., Barat J.M., Grau R., Toldrá F., Pagan M.J., 2008. *Meat Sci.*, 78, 135-142.
 Bozkurt H., 2007. *Food Control*, 18, 149-156.
 Calvo M.M., García M.L., Selgas M.D., 2008. *Meat Sci.*, 80, 167-172.

Campagnol P.C.B., dos Santos B.A., Terra N.N., Pollonio M.A.R., 2012a. *Meat Sci.*, 91, 334-338.

Campagnol P.C.B., dos Santos B.A., Wagner R., Terra N.N., Pollonio M.A.R., 2012b. *Meat Sci.*, 90, 36-42.

Corpet D.E., 2011. *Meat Sci.*, 89, 310-316.

Costa-Corredor A., Serra X., Arnau J., Gou P., 2009. *Meat Sci.*, 83, 390-397.

Coutron-Gambotti C., Gandemer G., Rousset S., Maestrini O., Casabianca F., 1999. *Food Chem.*, 64, 13-19.

Dabin E., Jussiaux R., 1994. *Le saucisson sec*. Erti Editeur, Paris, France, 216p.

Desmond E., 2006. *Meat Sci.*, 74, 188-196.

De Vuyst L., Falony G., Leroy F., 2008. *Meat Sci.*, 80, 75-78.

Duncan C., Dykhuizen R., Frazer R., Johnston P., MacKnight G., Smith L., et al., 1997. *Comp. Biochem. Physiol.*, 118A, 939-948.

Durand P., 1999. *Technologies des produits de charcuterie et des salaisons*. Editions Tec&Doc Lavoisier, Paris, France, 530p.

Eim V.S., Simal S., Rosselló C., Femenia A., 2008. *Meat Sci.*, 80, 173-182.

Fernández-López J., Sendra E., Sayas-Barberá E., Navarro C., Pérez-Alvarez J.A., 2008. *Meat Sci.*, 80, 410-417.

Flores J., 1997. *Food Chem.*, 59, 505-510.

Fulladosa E., Serra X., Gou P., Arnau J., 2009. *Meat Sci.*, 82, 213-218.

García M.L., Domínguez R., Galvez M.D., Casas C., Selgas M.D., 2002. *Meat Sci.*, 60, 227-236.

García-Iñiguez de Ciriano M., García-Herreros C., Larequi E., Valencia I., Ansorena D., Astiasarán I., 2009. *Meat Sci.*, 83, 271-277.

Gelabert J., Gou P., Guerrero L., Arnau J., 2003. *Meat Sci.*, 65, 833-839.

Gimeno O., Astiasarán I., Bello J., 1998. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 4372-4375.

Gimeno O., Astiasarán I., Bello J., 1999. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 873-877.

Gimeno O., Astiasarán I., Bello J., 2001. *Meat Sci.*, 57, 23-29.

Gou P., Guerrero L., Gelabert J., Arnau J., 1996. *Meat Sci.*, 42, 37-48.

Guardiá M.D., Guerrero L., Gelabert J., Gou P., Arnau J., 2008. *Meat Sci.*, 80, 1225-1230.

Guerrero L., Guardiá M.D., Xicola J., Verbeke W., Vanhonacker F., Zakowska-Biemans S., et al., 2009. *Appetite*, 52, 345-354.

Hammes W.P., 2012. *Food Microbiol.*, 29, 151-156.

Heaney R.P., Barger-Lux M.J., 1991. *Food Nutr. News*, 63, 7-10.

Honikel K.O., 2008. *Meat Sci.*, 78, 68-76.

Hsu J., Arcot J., Lee N.A., 2009. *Food Chem.*, 115, 334-339.

Ibañez C., Quintanilla L., Cid C., Astiasarán I., Bello J., 1996. *Meat Sci.*, 44, 227-234.

Ibañez C., Quintanilla L., Cid C., Astiasarán I., Bello J., 1997. *Meat Sci.*, 46, 277-284.

Jakszyn P., Gonzalez C.A., 2006. *World J. Gastroenterology*, 12, 4296-4303.

Jiménez-Colmenero F., 2007. *Trends Food Sci. Technol.*, 18, 567-578.

Jiménez-Colmenero F., Carballo J., Cofrades S., 2001. *Meat Sci.*, 59, 5-13.

Josquin N.M., Linssen J.P.H., Houben J.H., 2012. *Meat Sci.*, 90, 81-86.

Klingberg T.D., Axelsson L., Naterstad K., Elsser D., Budde B.B., 2005. *Int. J. Food Microbiol.*, 105, 419-431.

Lawrence G., Salles C., Septier C., Busch J., Thomas-Danguin T., 2009. *Food Qual. Prefer.*, 20, 241-248.

Leistner L., 1986. *Fleischwirtschaft*, 66, 496-510.

Le Page J.F., Mirade P.S., Daudin J.D., 2010. *Food Res. Int.*, 43, 1180-1186.

Lorenzo J.M., Franco D., *Meat Sci.* (2012), doi:10.1016/j.meatsci.2012.06.026.

Lundberg J.O., Carlström M., Larsen F.J., Weizberg E., 2011. *Cardiovas. Res.*, 89, 525-552.

Mendoza E., García M.L., Casas C., Selgas M.D., 2001. *Meat Sci.*, 57, 387-393.

Milkowski A., Garg H.K., Coughlin J.R., Bryan N.S., 2010. *Nitric Oxide*, 22, 110-119.

Muguerza E., Ansorena D., Astiasarán I., 2003. *Meat Sci.*, 65, 1361-1367.

Muguerza E., Gimeno O., Ansorena D., Astiasarán I., 2004. *Trends Food Sci. Technol.*, 15, 452-457.

Muguerza E., Fista G., Ansorena D., Astiasarán I., Bloukas J.G., 2002. *Meat Sci.*, 61, 397-404.

Nishida C., Uauy R., Kumanyika S., Shetty P., 2004. *Public Health Nutr.*, 7, 245-250.

Olivares A., Navarro J.L., Flores M., 2011. *Meat Sci.*, 87, 264-273.

Olivares A., Navarro J.L., Salvador A., Flores M., 2010. *Meat Sci.*, 86, 251-257.

Olson D.G., 1982. *The National Provisioner*, 17, 7-10.

Parthasarathy D.K., Bryan N.S., 2012. *Meat Sci.*, 92, 274-279.

Patureau-Mirand P., Rémond D., 2001. *Viandes Prod. Carnés*, 22, 103-107.

Pichner R., Hechelmann H., Steinrück H., Gareis M., 2006. *Fleischwirtschaft*, 10, 112-114.

Pierre F., Santarelli R., Tache S., Gueraud F., Corpet D.E., 2008. *Brit. J. Nutr.*, 99, 1000-1006.

Roseiro L.C., Santos C., Sol M., Borges M.J., Anjos M., Gonçalves H., Carvalho A.S., 2008. *Meat Sci.*, 79, 784-794.

Ruiz-Capillas C., Triki M., Herrero A.M., Rodríguez-Salas L., Jiménez-Colmenero F., 2012. *Meat Sci.*, 92, 144-150.

Ruusunen M., Puolanne E., 2005. *Meat Sci.*, 70, 531-541.

Salazar P., García M.L., Selgas M.D., 2009. *Int. J. Food Science Technol.*, 44, 1100-1107.

Santos-Garcés E., 2012. PhD Thesis, University of Girona, Spain, 184p.

Santos-Garcés E., Munoz I., Gou P., Sala X., Fulladosa E., 2011. *J. Agr. Food Chem.*, 60, 241-249.

Schluchter S., Eberhard P., Kneubühler H., Hadorn R., 2010. *Viandes Prod. Carnés*, 28, 3-7.

Sebranek J.G., Bacus J.N., 2007. *Meat Sci.*, 77, 136-147.

Simopoulos A.P., 2002. *Biomed. Pharmacother.*, 56, 365-379.

Toldrá F., Flores M., 1998. *Crit. Rev. Food Sci.*, 38, 331-352.

Toldrá F., Reig M., 2011. *Trends Food Sci. Tech.*, 22, 517-522.

Tsoukalas D.S., Katsanidis E., Marantidou S., Bloukas J.G., 2011. *Meat Sci.*, 87, 140-145.

Valencia I., Ansorena D., Astiasarán I., 2006. *Meat Sci.*, 72, 727-733.

Valencia I., Ansorena D., Astiasarán I., 2007. *Food Chem.*, 104, 1087-1096.

Wakamatsu J.I., Nishimura T., Hattori A., 2004. *Meat Sci.*, 67, 95-100.

Wakamatsu J.I., Hayashi N., Nishimura T., Hattori A., 2010. *Meat Sci.*, 84, 125-128.

Wakamatsu J.I., Okui J., Hayashi N., Nishimura T., Hattori A., 2007. *Meat Sci.*, 77, 580-586.

Weiss J., Gibis M., Schuh V., Salminen H., 2010. *Meat Sci.*, 86, 196-213.

WHO, 2003. *World Health Organization Technical Report Series*, Geneva.

Wirth F., 1988. *Fleischwirtschaft*, 68, 1153-1156.

DES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET ROBOTIQUES AU SERVICE DE L'AUTOMATISATION DE L'ABATTAGE ET DE LA DECOUPE DE VIANDE

ALRIC M.¹

¹ADIV, Pôle Pré-Ingénierie, ZAC Parc Industriel des Gravanches, 10 rue Jacqueline AURIOL, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

Abstract: Technological and Robotic Solutions for Automation of Slaughtering and Meat Cutting Operations

Nowadays, mechanization-robotization is becoming a real challenge to enhance the competitiveness of the meat sector. It has to tackle difficulties relative to hardness of working conditions, resulting in part in qualified workers shortage and in an high rate of musculoskeletal diseases and working accidents. Different international initiatives have been launched to develop automated or robotic solutions. It be can notice that mechanization-robotization of the meat sector is really heterogeneous, depending on the species or breeds and their carcasses/products variability. This paper presents our work in this area and the resulting demonstrators or prototypes, integrating different R&D solutions of *detection* (vision tracking and 3D reconstruction), *grasping/holding/manipulating devices*, *robotic strategies and algorithms* to define 3D cutting trajectories, *control of robotic systems* by vision/force feedback, redundant systems management or multi-arms cooperation methods, etc. Finally we open prospects for other interesting technologies (*cobotics*, *telemanipulation*, *virtual reality*) to be applied in meat technology.

Introduction

Le contexte des filières viandes

Les entreprises agroalimentaires françaises constituent, avec plus de 500 000 employés, un des secteurs les plus importants de l'industrie française. Parmi elles, les filières viandes occupent une place prépondérante. Malgré le fait que les industries carnées dégagent peu de valeur ajoutée, elles représentent le premier secteur des IAA en termes de Chiffre d'Affaire et du nombre d'entreprises de plus de 20 salariés.

Les filières viandes et produits carnés doivent et devront faire face dans les années futures à de nombreux challenges d'ordre technique, productif, économique, social ou de sécurité sanitaire pour pérenniser leurs activités.

Sur le plan social et sociétal, le principal enjeu des filières viandes est la réduction de la pénibilité et de la dangerosité du travail (CNAMTS, 2009). En effet, la première transformation qui comprend l'abattage et la découpe des viandes est accidentogène avec une fréquence des accidents du travail très supérieure à la moyenne des secteurs industriels : 100 à 150 % opérateurs en abattage-découpe contre 52 % et 38 % respectivement pour les IAA ou l'ensemble des industries. Un autre enjeu majeur est la diminution des troubles musculo-squelettiques (TMS), qui sont en forte augmentation, notamment en atelier de découpe. En conséquence de cette pénibilité et de ces conditions de travail difficiles, la filière viande doivent faire face à un déficit d'image et d'attractivité, notamment auprès des jeunes, et donc un déficit de main d'œuvre qualifiée. Ces activités deviennent donc sous tension avec plus d'offres que de demandes et un recours important à l'intérim pour 12% contre 4% pour l'ensemble des industries.

Enfin, le cout social lié à la pénibilité (accidents, maladies professionnelles), couplé aux couts liés au manque de main d'œuvre, pèsent sur la compétitivité et rentabilité de cette filière, dans un marché de plus en plus mondialisé.

Face à ce constat, la mécanisation/robotisation apparaît comme une solution prometteuse, car ayant fait ses preuves dans d'autres secteurs comme l'automobile, l'aéronautique ou le médical. De plus, elle devrait permettre également un gain significatif sur le plan de la sécurité sanitaire des produits par la diminution des manipulations humaines et par l'introduction de systèmes de nettoyage/désinfection automatique en ligne.

Des spécificités et contraintes de travail particulières

La filière viande fait partie des industries encore très manuelles et peu mécanisées/ robotisées par rapport à d'autres secteurs industriels. Il reste donc un grand nombre d'opérations unitaires à étudier en vue de leur automatisation (Massoulier F. *et al.*, 2010). Cette faible mécanisation/robotisation du secteur des viandes et produits carnés est principalement liée à la grande variabilité de la matière première et aux caractéristiques intrinsèques de la viande.

En effet, les pièces de viande sont, selon les espèces, variables en termes de taille, forme, texture ou couleur, avec des propriétés et caractéristiques mécaniques très différentes, plus ou moins déformables (élastiques ou hétérogènes), rigides ou articulés (muscles, os, articulations, gras, nerfs, aponévrose, etc.). A cause de cette forte variabilité, très importante chez les bovins, il est nécessaire de mettre en œuvre des solutions adaptables à chaque pièce, intégrant des technologies robotiques intelligentes, équipées d'outils ou capteurs spéciaux (préhension, vision, efforts, etc.) et d'algorithmes évolués de traitement des données-capteurs pour la commande.

Un deuxième frein important à la mécanisation/robotisation est la complexité des gestes/mouvements à effectuer, rendant plus difficile leur reproduction par un système automatisé. Dans une optique de robotisation, il est indispensable de procéder à une phase d'analyse pointue du travail de l'opérateur pour traduire ses gestes en tâches automatisables. Dans bien des cas, il faut repenser complètement la stratégie de travail et les schémas de découpe.

Enfin, une dernière problématique à surmonter réside dans l'environnement de travail (humidité, froid, produits de nettoyage, etc.) qui reste très agressif vis-à-vis de la mécanique ou l'électronique embarquée.

Matériels et méthodes

Face à ces différents besoins technologiques, certains développements de mécanisation/robotisation ont déjà été mis en place pour l'automatisation d'opérations unitaires, principalement pour le travail des espèces telles que la Volaille, le Porc ou les Ovins (Purnell G. 1998).

Concernant l'abattage de Porcs, des solutions mécanisées/robotisées existent pour la plus part des opérations de « préparation interne des carcasses ». Plusieurs auteurs et inventeurs (Jacobs et Gerardus, 1998 ; Couedic et Horellou, 1999 ; Post Gerard et Van Ochten, 2000) ont décrit ces opérations : détournement de la « rosette », ouverture du sternum, coupe de la nuque, fente, levée des pannes, etc. (Fig. 1). Ces solutions permettent, avec doublage éventuel de postes, d'atteindre des cadences très élevées de plus de 700 à 900 Porcs/heure. Une ligne automatisée spécifique existe même au Danish Crown au Danemark avec une cadence de près de 1000 à 1200 Porcs/heure.

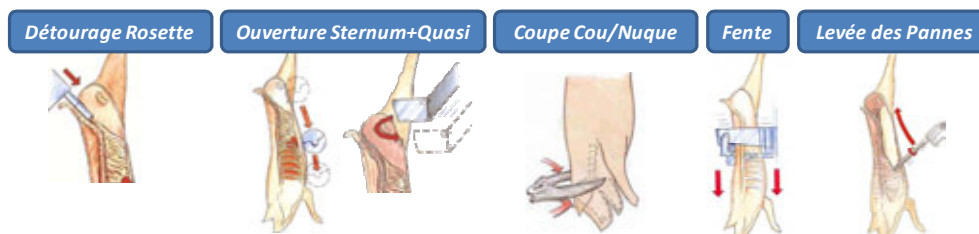


Fig. 1 : Schémas de mécanisation/robotisation des opérations unitaires de préparation interne des carcasses de porc sur ligne d'abattage

Ensuite, des solutions mécanisées/automatisées existent aussi pour les ateliers de découpe de porcs. Pour réaliser la découpe primaire, qui comprend la séparation du Jambon, de la poitrine/longe et de l'épaule), il existe soit des systèmes mécanisés (Madsen, 2004 ; Couedic et Le Maux, 2009) de positionnement et d'actionnement de scies circulaires (avec une prise d'image caméra en amont et une coupe des carcasses affalées sur tapis), soit des solutions de découpe robotisées de carcasses en verticale, pouvant atteindre des cadences de 400 ou 600 Porcs/heure (Fig. 2).



Fig. 2 : Exemples de solutions existantes pour la découpe primaire des demi-carcasses de porcs

Des solutions existent aussi pour le désossage de certaines pièces, telles que les « longes » ou les « jambons » (Fig. 3 ; Goto et Kozu, 2011). L'ADIV aussi travaille en partenariat avec l'Université Blaise Pascal, l'IFMA, l'Institut Pascal et un équipementier, au développement de solutions pour le désossage robotisé ou l'aide au désossage automatisé des Jambons de Porcs frais. Elle dispose d'un démonstrateur robotique de désossage dont les stratégies de découpe sont en cours d'optimisation. Les résultats intermédiaires obtenus sont encourageants en termes de qualité de coupe (rendement de perte inférieure à 5%). Il reste un certain nombre d'améliorations à réaliser afin de réduire les temps d'opérations. (Fig. 3 ; ALRIC *et al.*, 2012).

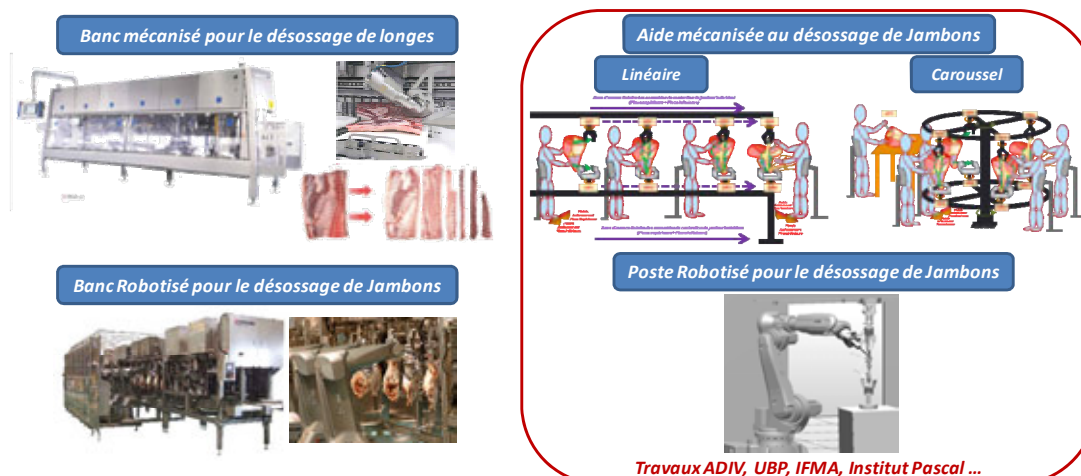


Fig. 3 : Exemples de solutions existantes le désossage de pièces de porc (longes, jambons, etc.)

Pour l'espèce Ovine, une ligne automatisée a été développée par le MIRINZ, MLA, SCOTT et RTL en Nouvelle Zélande (Aimers R., 2003) et est exploitée industriellement. Elle intègre différentes opérations de découpe des carcasses d'ovins (Fig. 4).

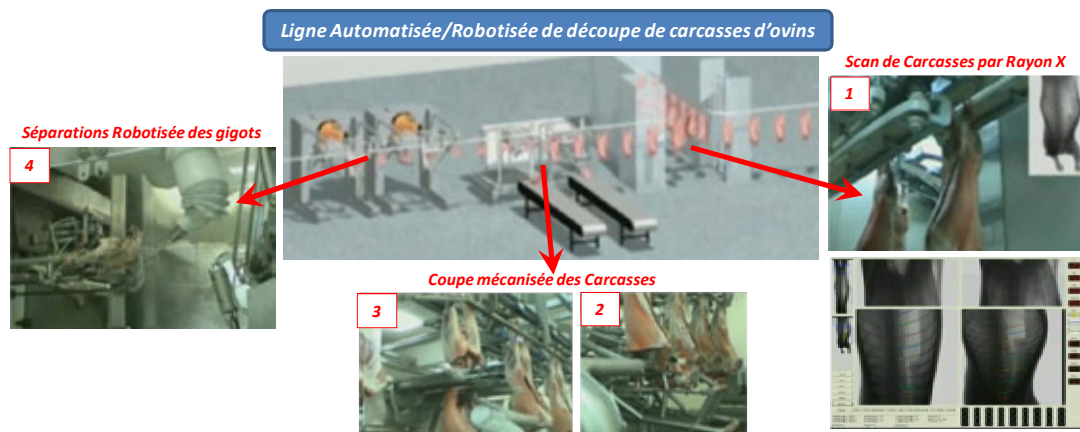


Fig. 4 : Exemple d'une solution de ligne de découpe automatisée/robotisée de carcasses d'ovins

Pour les Volailles, il existe aussi depuis longtemps des solutions de mécanisation. Plus généralement, plus les gabarits des espèces sont réduits (Volailles<Ovins<Porcs< ... < Bovins) et gabaritisés/standardisés (avec une faible variabilité dans les tailles, conformations, etc.), plus la mécanisation/automatisation/robotisation des opérations unitaires d'abattage/découpe de ces espèces a pu être rendu possible et a pris de l'ampleur ; la principale raison est la répétabilité plus aisée des opérations/gestes/mouvements mécanisés des solutions. Compte-tenu de la variété des espèces et des opérations unitaires qui constituent les lignes de traitement des viandes, il reste encore un grand nombre d'applications à développer, en particulier pour l'espèce bovine, afin d'améliorer l'automatisation de l'ensemble de ces installations et donc de renforcer la compétitivité de la filière viande.

C'est sur ces perspectives de R&D qu'a entrepris de travailler l'ADIV, en partenariat avec des Laboratoires de la place clermontoise spécialisés en génie mécanique, commande robotique et organisation des systèmes de production (Université Blaise Pascal, IFMA et Institut Pascal), et des équipementiers et intégrateurs industriels. Afin de mener à bien ces développements, une démarche globale de mécanisation/robotisation a été définie et est suivie pour l'ensemble des actions et projets de R&D conduits (voir Fig. 5).

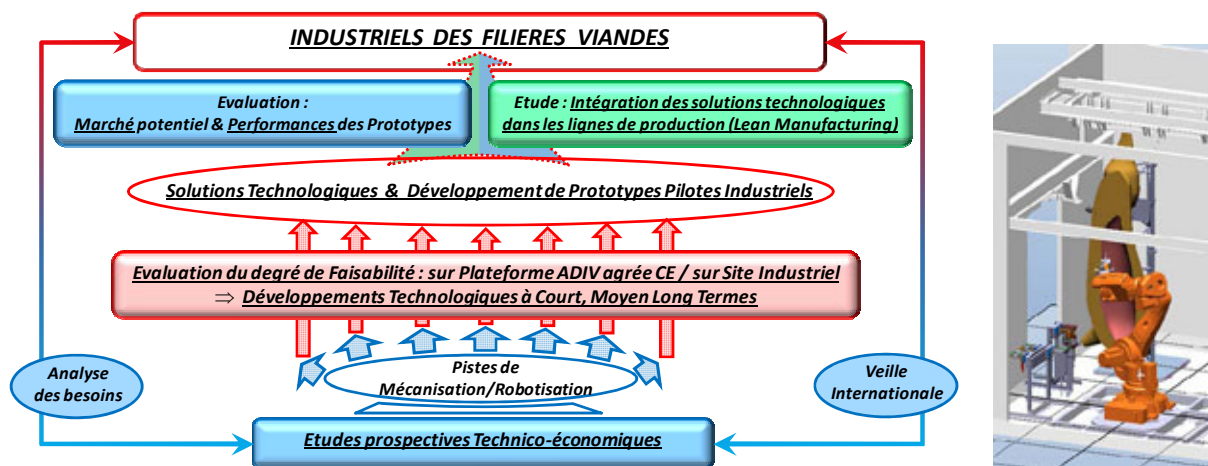


Fig. 5 : Démarche ADIV de Mécanisation/Robotisation pour les Filières Viandes (à gauche) et Exemple de simulation de la cellule robotique de l'ADIV (à droite)

Sur la base de l'expertise ADIV des filières viandes et de ses connaissances métiers des opérations unitaires, des études sont menées sur les opérations à mécaniser/robotiser pour traduire les caractéristiques de ces opérations (gestes, postures, etc.) en critères mécaniques et robotiques. Des outils performants de modélisation et simulation sont utilisés ensuite pour valider les processus et scénarios robotiques (Fig. 5). De ces analyses, ont pu déjà être identifiés un certain nombre de verrous scientifiques et technologiques, communs à différentes tâches opératoires d'abattage ou de découpe :

- *la détection* : la reconstruction 3D de pièces ou carcasses à forte variabilité est nécessaire à la définition des trajectoires à suivre par les outils de coupe avec une reconnaissance des différents tissus composants les pièces de viandes manipulés : os / muscle / gras / cartilage /etc.
- *la préhension* : des outils spécifiques doivent être développés pour la mise en position, l'accroche, la manipulation, la contention lors des opérations de désossage/découpe, ou encore la préhension de muscles ou de pièces de viandes lors de découpe robotique (Fig. 6), etc.
- *la définition de trajectoires complexes* dédiées et dépendantes des différentes opérations unitaires : ces trajectoires 3D doivent être positionnées précisément sur des corps déformables et adaptées en fonction d'une possible forte variabilité dimensionnelle

- *la collaboration multi-tâches robotiques* : des opérations peuvent nécessiter la combinaison synchronisée d'opération de traction/compression/coupe/..., notamment la séparation muscles/muscles (Fig. 6 ; projet ARMS)
- *des tâches multi-sensorielles* : la maîtrise du suivi des trajectoires de coupe peut se faire par couplage visuel et/ou tactile (contrôle d'efforts lors de la coupe ou lors de manipulations en traction/compression)
- *des découpes anatomiques* : le respect de l'intégrité des muscles nécessite une adaptation des trajectoires par rapport à la structure anatomique et la définition d'un référentiel pour chaque tâche à réaliser



Fig. 6 : Exemple de solution de préhenseur pour fémur de jambon (à gauche) et de concept de coopération multi-bras robotique avec préhension/traction, coupe et control/commande par vision pour la séparation de muscles (à droite)

Afin de surmonter les différents verrous énumérés précédemment et de répondre aux problématiques des tâches robotiques envisagées, diverses solutions technologiques sont développées et mises en œuvre concernant :

- *l'acquisition et reconstruction de courbes, de formes et d'images 3D pour la définition de trajectoires* :
 - Projection de lumière pour extraction de profil 2D
 - Lumière structurée et une caméra pour la reconstruction d'images 3D (Fig. 7)
 - Stéréovision : ensemble bi-caméras pour vision temps réelle et reconstruction 3D (Fig. 7)

Certaines de ces technologies de vision demandent des protocoles élaborés de calibration avant de pouvoir être utilisées pour reconstruire des produits (Mosnier J. *et al.*, 2009). Ces solutions de vision peuvent atteindre des précisions inférieures au millimètre dans leur reconstruction 3D d'objets.

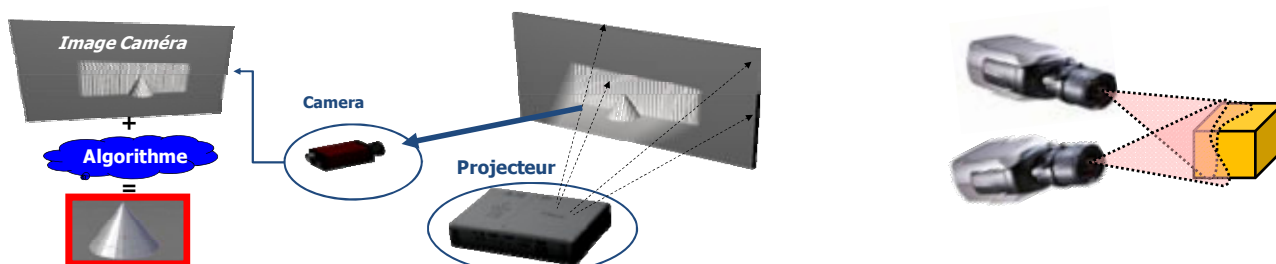


Fig. 7 : Principe de reconstruction 3D par Lumière structurée + 1 Caméra (à gauche) et Principe de reconstruction 3D par Stéréovision (à droite)

- *l'acquisition d'informations sur la coupe directement à partir des outils* : développement d'outils de coupe intelligents qui acquièrent des informations pendant le travail (découpe/désossage). Par exemple, la mesure des courants moteurs de l'outil et traitement de ce signal.
- *l'adaptation de trajectoires théoriques de coupe par rapport au référentiel réel, guidé par un ? élément un plus ou moins rigide (exemple : suivi de la forme d'un os pour séparer la viande)* : asservissement en effort par des capteurs intégrés en tête du robot (Fig. 4) : le robot se rapproche ou s'éloigne de la trajectoire à suivre en fonction de l'effort appliqué sur l'outil et auto-adapte sa trajectoire suivant un schéma d'optimisation de trajectoire multicritères (vitesse, rigidité, orientation de l'outil, butée articulaires et singularités du robot) à pondération variable. Cette méthode calcule le gradient d'une fonction objectif obtenue par agrégation des différents critères pondérés dans le but d'optimiser la posture du robot dans la réalisation de sa tâche de découpe. (Fig. 8) :

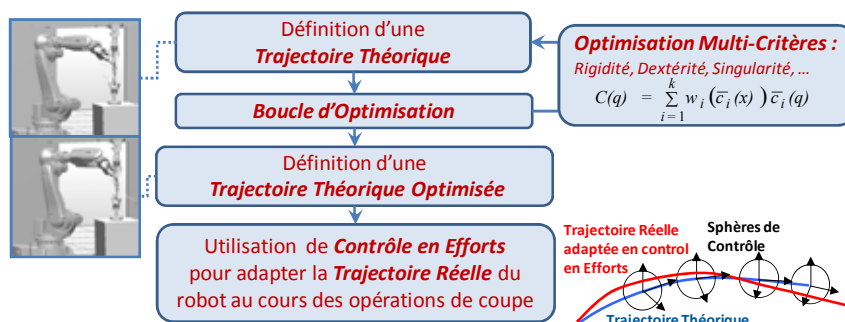


Fig. 8 : Exemple de schéma d'optimisation de trajectoire pour le suivi d'os par control en effort

- *l'adaptation de trajectoires théoriques de coupe par rapport au référentiel réel sans guidage rigide (exemple : coupe entre deux muscles de viande à séparer)* : asservissement couplé de vision par des caméras (positionnées sur des supports annexes ou sur l'effecteur du robot) et d'efforts par des capteurs d'efforts (Fig. 9).
- *la commande de systèmes multitâches* : optimisation de l'agilité par gestion des redondances cinématiques de systèmes robotiques qui suppose une architecture mécanique redondante (Guire G. *et al.*, 2010) ou multi-bras.

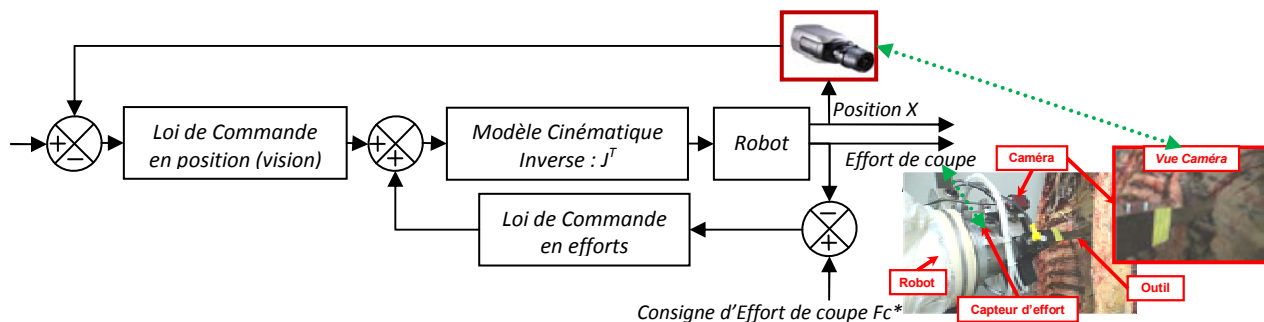


Fig. 9 : Exemple de schéma de commande par couplage Vision/Force (retour d'information Position et Efforts) pour des opérations de découpe

Résultats et discussions

L'ADIV dispose d'une cellule robotique (Fig. 10), intégrée au sein de sa plateforme expérimentale, pour mener ses travaux de R&D en automatisation/robotisation des opérations de désossage/découpe de viandes (carcasses, quartiers, cuisses, jambons, etc.), en conditions préindustrielles (agrément CE des locaux de test). Cet outil, unique en France, permet de développer des solutions/prototypes et de les tester sur des produits « réels ». Par exemple un système robotique de mise en quartiers de demi-carcasses bovines, ou bien un système de désossage de jambons de porcs frais).

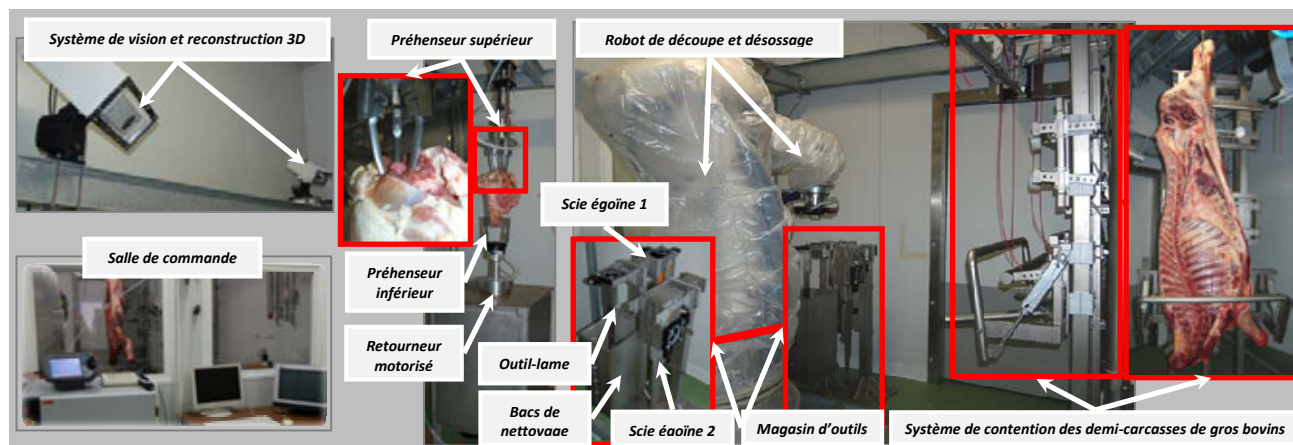


Fig. 10 : Cellule Robotique Agroalimentaire de l'ADIV

Les différents projets et travaux de recherche et développement ont abouti à la mise au point de différentes solutions technologiques ou démonstrateurs-prototypes :

- *Un dispositif de vision et reconstruction 3D de demi-carcasses bovines par lumière structurée* (Fig. 11)
Ce système permet par un principe de triangulation (projection motifs et prise image caméra) de reconstruire en 3 dimensions des objets statiques telles que des demi-carcasses bovines disposées à quelques mètres du dispositif, en vue de relever des informations géométriques permettant de définir une trajectoire de coupe (Mosnier J., 2011). Le process de calcul est effectué en « Off line ». Ce système atteint **une précision de reconstruction 3D du millimètre**, voire meilleure, pour un produit (demi-carcasse bovine) pouvant atteindre une taille de 2,5 à 3 m de longueur. Cette précision est **amplement suffisante** pour réaliser les opérations de découpe concernées.

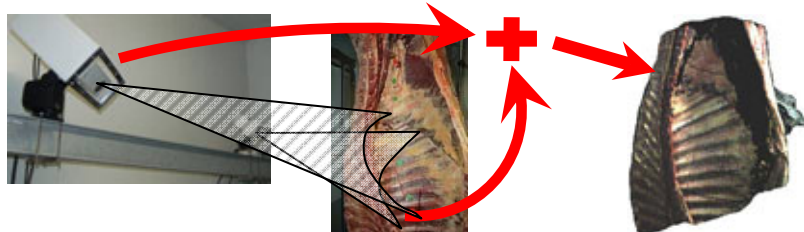


Fig. 11 : Dispositif de reconstruction 3D de carcasses bovines intégré dans la cellule robotique de l'ADIV

- *Des dispositifs de Stéréovision (2 caméras) pour la reconstruction 3D de muscles et produits carnés* (Fig. 12)
Ce principe de stéréovision est plus simple à calibrer/étalonner que le précédent. Il permet une gestion en temps réel des calculs de reconstruction 3D et est mieux adapté au suivi dynamique d'objets (tels que les muscles) ou de déformations d'objets. Il sert à la constitution de modèles de comportements mécaniques de muscles. Les informations de tels modèles peuvent servir pour différentes applications :
 - la constitution de modèles de comportements mécaniques prédictifs du matériau « viande », pour :
 - la commande de systèmes robotiques de découpe, avec la prédiction des déformations ou efforts dus à la coupe/séparation de muscles (Essahabi N. et al., 2012 ; projet ANR ARMS),

- l'évaluation de la tendreté individuelle des muscles et pièces de viande par un suivi 3D et dynamique des déformations,
- la simulation 3D de produits carnés dans le but d'expliquer, de manière plus intuitive, les schémas de découpe lors de la formation des bouchers et opérateurs de découpe, avant la pratique sur produits réels).

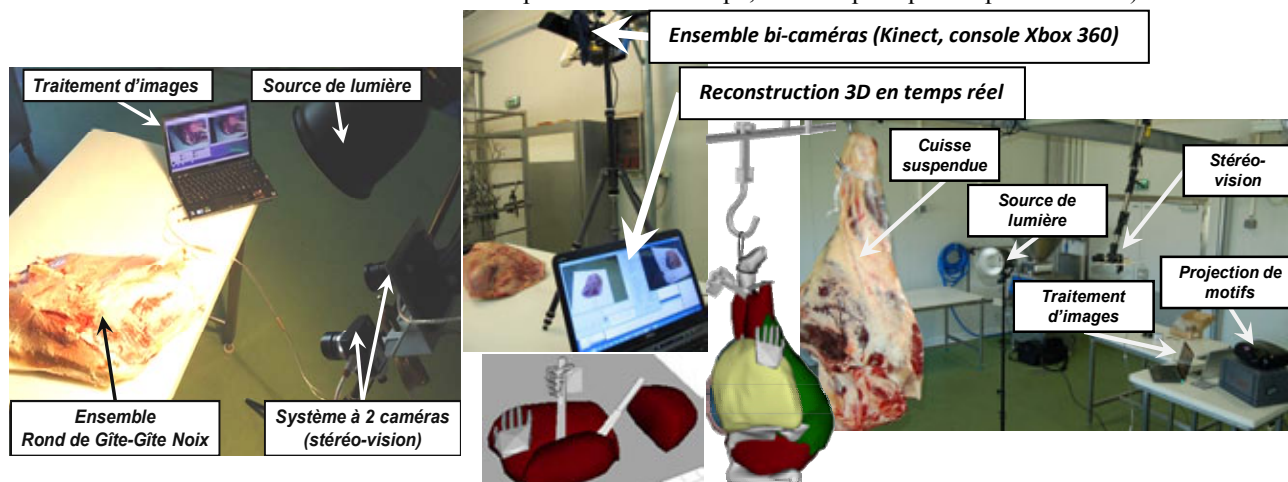


Fig. 12 : Dispositifs de stéréovision et reconstruction 3D de muscles et produits carnés (développés dans le cadre du projet ANR ARMS)

- Des dispositifs de coupe (lames tranchantes montées sur l'effecteur du robot) pilotés par des algorithmes de commande en efforts (Fig. 13)

Ces dispositifs/principes ont été appliqués et adaptés pour des applications de coupe de carcasses bovines ou pour la découpe de jambons de porcs. Ils demandent une importante phase de test et de réglage, notamment des plages d'efforts, pour détecter les différents matériaux rencontrés durant les découpes : viande, os, cartilage, nerf, aponévrose, etc. afin que le système soit capable de distinguer précisément ces divers éléments et d'adapter ses mouvements/trajectoires de coupe. La **précision de relevé des efforts** est de l'ordre du **Newton**. Elle est suffisante pour atteindre des **précisions de coupe sur les produits** de l'ordre de **quelques millimètres** : **précisions suffisantes** pour les opérations de découpe étudiées.



Fig. 13 : Exemple de relevé d'efforts (capteur d'efforts 6 axes monté sur l'effecteur du robot) lors du suivi d'un os par la lame de l'outil du robot

- Différents démonstrateurs/prototypes robotiques (Fig. 10) :

- **Un système robotique de mise en quartiers des demi-carcasses de gros bovins** (Fig. 14), constitué des éléments suivants : un dispositif de relevé vision pour le prélèvement d'informations sur le produit, un système de contention, un robot et un magasin d'outils pour les différentes opérations de découpe. Une stratégie robotique a été élaborée pour réaliser l'ensemble du procédé de mise en quartiers (Guire G. *et al.*, 2009). Certaines opérations utilisent des principes de retour d'efforts, ou autres systèmes intelligents complémentaires au robot, et permettent d'apporter les informations nécessaires à la définition des trajectoires 3D.

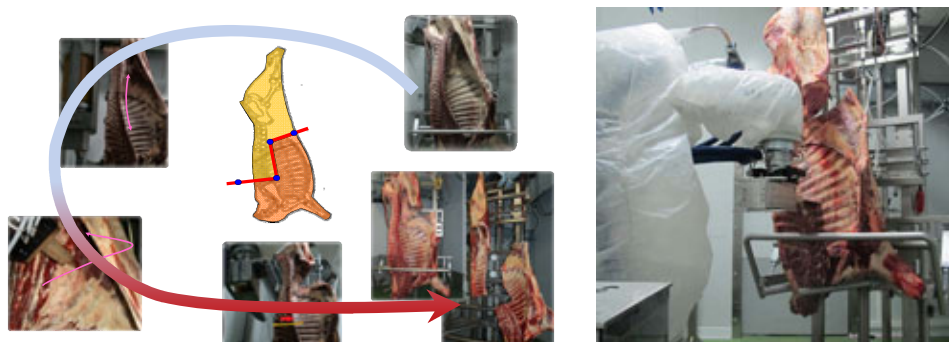


Fig. 14 : Illustrations du résultat du procédé de mise en quartiers robotique des demi-carcasses bovines, réalisé avec le prototype installé sur la plateforme expérimentale agroalimentaire (agrée CE) de l'ADIV

- **Des systèmes d'aide mécanisée et de robotisation du désossage des jambons de porcs** (Fig. 3). deux volets de travail ont aboutis à :
 - La définition de nouveaux schémas de désossage des jambons de porc frais. L'aide au désossage passe par la contention et présentation des jambons à l'opérateur dans une disposition novatrice. Deux versions de lignes sont proposées et synthétisées dans une demande de brevet (ALRIC *et al.*, 2012). L'ensemble de ces solutions d'aide mécanisées permettent aussi de proposer des modes opératoires de désossage manuel plus productifs et avec une réduction de la pénibilité.
 - Le développement d'une stratégie de robotisation du désossage de jambons de porcs pour une automatisation complète du procédé (Subrin K. *et al.*, 2011). Le procédé et le prototype sont en cours de finalisation et de protection intellectuelle (brevet).

Sur la base de ces premiers résultats technologiques, l'ADIV souhaite continuer ses travaux de R&D afin d'aborder des tâches plus complexes de découpe ou désossage à travers notamment le projet ANR ARMS, qui vise le développement et la commande d'un système multi-bras robotique afin de valider des concepts de séparation de muscles bovins.

Il reste encore un grand nombre de verrous scientifiques et de points technologiques à solutionner avant de pouvoir complètement automatiser les lignes d'abattage et de découpe et de voir des systèmes robotiques intelligents travailler de manière complètement autonome. A l'avenir, les solutions mécanisées/robotisées devront évoluer et intégrer plus d'adaptabilité et de polyvalence.

Afin d'apporter une partie des réponses à l'automatisation des filières viandes, un certain nombre de pistes et thématiques robotiques nouvelles devront être abordées, par comparaison avec d'autres secteurs (automobile ou médical) qui les ont déjà envisagées ou adoptées :

- *la cobotique*, utilisée notamment pour des opérations de montage et d'assemblage mécanique, regroupe toutes les applications de coopération entre un/des robots et un/des opérateurs : l'opérateur agit sur l'effecteur du robot pour le diriger et le robot génère la majorité des efforts de réalisation de l'opération (Fig. 15). Cela demande la mise au point d'algorithmes complexes permettant de gérer la dynamique du robot et de l'adapter en fonction des gestes exercés par l'opérateur pour le guider (Lamy X. *et al.*, 2009). Un certain nombre de sécurités doivent être intégrées aux dispositifs, soit dans la conception du système (butées physiques), soit par l'intermédiaire de capteurs (butées logicielles) pour garantir la sécurité de l'utilisateur. Cette thématique robotique est en plein essor suite aux évolutions technologiques et à la sécurisation des systèmes robotiques. A l'avenir, les robots seront de plus en plus utilisés sans cage de protection. La cobotique peut donc être envisagée comme solution intermédiaire à une automatisation complète d'opération.
- *les aides mécanisées et « Exosquelettes »* : dans ce cas les actionneurs sont montés directement sur le corps de l'opérateur (Fig. 15). Ceci n'est plus considéré comme de la science fiction, et certaines solutions voient déjà le jour dans des secteurs industriels comme les lignes de montage de pièces automobiles et l'assistance à certaines opérations physiques de finition comme le perçage, le ponçage, etc.. Ces solutions pourraient permettre de dupliquer les forces des opérateurs en abattage ou découpe et réduire les TMS et la pénibilité (Lamy X. *et al.*, 2010).



Fig. 15 : Exemples de solutions de cobotique (à gauche) ou exosquelettes (à droite) développées par le CEA LIST et la société RB3D



Fig. 16 : Exemples de solutions multi-bras robotiques : d'un humanoïde de la société MOTOMAN (à gauche), d'un système télémanipulé multi-bras robotiques pour la chirurgie, le système Da VINCI (au centre), et la télémanipulation d'une main dextre robotique de la société SHADOW (à droite)

- *les plateformes multi-robots*, qui envisagent la coopération de plusieurs robots et systèmes mécaniques automatisés pour la réalisation d'opérations (Fig. 16). Ces solutions sont très développées en automobile pour des tâches répétibles, où chaque robot a des tâches bien définies, mais elles restent encore difficiles à transposer pour

les opérations sur les viandes. Cependant, cela constitue un challenge de recherche scientifique des plus intéressants. Cette thématique est l'objet du projet ANR ARMS préalablement cité.

- la *télémnipulation*, très utilisée en chirurgie (Fig. 16), permet au chirurgien de commander un système robotique en n'exerçant que de faibles efforts sur les manettes de commande, diminuant fortement la fatigue et la pénibilité des tâches opératoires.
- la *réalité virtuelle ou augmentée*, science connexe à celle de la robotique, déjà très utilisée dans le domaine médical pour la formation des chirurgiens (Fig. 17). Certains modèles ont déjà été développés pour simuler les coupes en chirurgie (Bielser D. and Gross M. H., 2000). La réalité virtuelle pourrait donc être utilisée pour former les opérateurs ou bouchers en simulant les gestes pour l'apprentissage avant le passage sur produits réels (Fig. 17).



Fig. 17 : Exemples de systèmes de réalité virtuelle : en Immersion partielle avec lunette pour vision 3D et manettes à retour d'effort pour la formation de chirurgiens (à gauche), en Immersion totale avec génération d'un avatar 3D de l'opérateur réelle (au centre), ou en Immersion totale avec retour tactile d'efforts (projet en définition pour la formation d'opérateurs/bouchers – IUT Puy en Velay, IFP haute Loire, ADIV, ...)

Conclusions

La filière viande représente un fort potentiel de développement pour la robotique et autres technologies innovantes pouvant intégrer de nouveaux capteurs, caméras, actionneurs, etc.

Le panel varié des opérations unitaires potentiellement automatisables font de la mécanisation/robotisation un des challenges de demain pour cette filière, avec un champ d'applications quasi illimité. Pour cela il faudra surmonter des verrous propres à ce secteur tels que la forte variabilité des produits, la complexité des actions/gestes/mouvements des opérations et les contraintes de l'environnement de travail (hygiène, froids, humidité, etc.).

Comme d'autres secteurs industriels (automobile, aéronautique) ou de la santé (chirurgie, médecine), l'agro-alimentaire, et plus particulièrement la filière viande, devra franchir le pas et investir plus fortement sur la voie de la robotisation afin de faire évoluer les outils de production et permettre de rester compétitif face à une concurrence de plus en plus mondialisée.

Sur ce point, différentes initiatives et travaux sont menés en France et à l'étranger. C'est sur cette voie d'innovation et de modernisation des filières viandes que l'ADIV travaille depuis quelques années déjà, et de manière plus intense encore à l'avenir, aux travers de son pôle Ingénierie et du partenariat de l'UMT 08.2, afin de proposer aux industriels des solutions plus performantes au niveau technique, technologique et organisationnel.

Les travaux de l'ADIV et de l'UMT 08.2, en Mécanique et Robotique aux services des Filières Viandes, sont conduits en partenariat avec les enseignants-chercheurs de l'Institut Pascal, de l'IFMA et de l'Université Blaise Pascal à Clermont-Ferrand, avec un certain nombre d'autres partenaires publics ou privés Français ou Etrangers, et avec le suivi et le soutien de l'ACTIA (Association de Coordination Technique pour l'Industrie Agro-alimentaire)

Aimers R., 2003. International Publication Number WO03096814A1.

Alric M., Sabourin L., Chenille C., Guire G., Subrin K., 2012. Demande de Brevet N° A235 B 32490.

Bielser D., Gross M. H., 2000. IEEE Computer Society Press, 116-125.

CNAMTS, 2009. Stat. nationales des accidents du travail, des accidents de trajet et des maladies professionnelles, Paris, France.

Couedic R., Le Maux R., 1999. Brevet N° FR2790191 (A1), FR2790192 (A1) et FR2790192 (B1).

Couedic R., Horellou S., 2009. Brevet N° FR2940747 (A1) et FR2940747 (B1).

Essahbi N., Bouzgarrou B-C., Gogu G., 2012. Applied Mechanics and Materials. 162. 184-193.

Goto O., Kozu S., 2011. Brevet N° EP2277384 (A1).

Guire G., Lemoine E., Stephan F., Sabourin L., Gogu G., 2009. 55th ICoMST, Copenhagen, Danemark.

Guire G., Sabourin L., Gogu G., Lemoine E., 2010. IDMMME and Virtual Concept, Bordeaux, France.

Guire G., Sabourin L., Gogu G., Lemoine E., 2010. Industrial Robot, 37(6), 532-541.

Jacobs T., Gerardus M., 1998. Brevet N° EP0836804 (A2) et EP0836804 (A3).

Lamy X., Morel G., Measson Y., Geffard F., Colledani F., 2010. 8th WCICA, Jinan, Chine.

Lamy X., Colledani F., Geffard D., Measson Y., Morel G., 2009. IEEE - ICRA, Kobé, Japon.

Massoulie F., Berasateguy M., Jaby N., 2010. Viandes et Produits carnés, 28 (3), 75-80.

Madsen A., 2004. Brevet N° EP0985348 (A2), EP0985348 (A3) et EP0985348 (T2).

Mosnier J., Berry F., Ait-aider O., 2009. IAPR - MVA, Yokohama, Japan.

Mosnier J., 2011. Rapport de thèse, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.

Post Gerard. J., Van Ochten Sander A., 2000. Brevet N° EP1027829 (A1) et EP1027829 (T2).

Purnell G., 1998., Meat Science, 49 (1), 297-307.

Subrin K., Alric M., Sabourin L., Gogu G., 2011. 57th ICoMST, Ghent, Belgium.

UTILISATION DE MODELES DE TRANSFERTS ET DE REACTIONS POUR DETERMINER LES PERTES EN MICRONUTRIMENTS AU COURS DE LA CUISSON DES VIANDES.

ILLUSTRATION DE L'APPROCHE DANS LE CAS DE LA VITAMINE B6

S. PORTANGUEN¹, V. SCISLOWSKI², C. DUCHENE³, G. GANDEMER⁴, A. KONDOYAN¹

¹INRA UR370 QuaPA, Equipe Imagerie & Transferts, F-63122 St-Genès-Champagnelle, France.

²ADIV, pôle Nutrition & Santé, 10 rue Jacqueline Auriol, ZAC du Parc Industriel des Gravanches 63039 Clermont-Ferrand cedex 2, France.

³ CIV, 207 rue de Bercy, 75587 Paris cedex 12, France.

⁴ INRA, Centre de recherche de Lille, 2 chaussée Brunehaut Estrées-Mons, 80203 Péronne.

Abstract : Use of transfer and reactional models to determine the loss of micronutrients when meat is being cooked – Approach to the experiment regarding vitamin B6.

Meat is an important source of micronutrients, especially vitamins from group B. The operations of transformation, especially during cooking time, can be responsible for an important loss of these micronutrients. The aim of this study is to make an overall model, including a transfer model and a reactional model, which would be able to predict the losses created by thermic denaturation as well as by expulsion into the juices of the meat, basing the argument on the experimental measures carried out on meat and beef juices. This model is indeed able to predict the loss of micronutrients considering the variability of the size of the meat portions, the cooking method and the cooling conditions. This approach regarding vitamin B6 can be applied to other micronutrients, other muscle types and other species. In the case of vitamin B6, both the loss by expulsion in the juice and thermic denaturation are to be considered, especially when the samples are thick and slowly heated up.

Introduction :

Les viandes sont riches en Fer, en vitamines B et en autres micronutriments (Zinc et Sélénium) facilement assimilables par l'Homme. Une part importante du fer héminique ou des vitamines B peut être perdue lors de la cuisson dans des proportions qui dépendent beaucoup des conditions de traitement, tandis que les pertes en zinc ou en sélénium sont quasi-nulles. Ce travail a pour objectif d'utiliser la modélisation pour déterminer les pertes en vitamines B dans un grand nombre de conditions pratiques, qu'il serait long et coûteux de couvrir par l'expérience. La démarche proposée est illustrée ici pour la vitamine B6 contenue dans la viande de bœuf, mais elle a aussi été appliquée au cas du fer héminique et de la vitamine B3. Ces calculs servent ensuite à construire des abaques qui peuvent être utilisés par les professionnels des différents secteurs concernés (nutritionnistes, diététiciens, professionnels de la restauration collective ou de l'agroalimentaire, etc.) pour déterminer l'apport réel en micronutriments par les viandes cuites, c'est-à-dire telles que consommées, et/ou, pour mieux comprendre comment maîtriser les procédés de transformation des viandes afin de limiter les pertes en micronutriments lors des cuissons.

Les vitamines B3 et B6 n'ont pas le même comportement vis-à-vis de la température. La vitamine B3 est considérée comme la vitamine hydrosoluble la plus thermostable, elle reste active après un traitement à la chaleur sèche. Rhee et al. (1993), cités par Leskova et al. (2006) ont montré que 78% de la vitamine B3 était préservée lors de la cuisson de viande hachée. Dans le même temps, 50% de la vitamine B6 est détruite (Saubertlich, 1990, cité par Culioli et al., 2003), ce chiffre est confirmé par Leskova (2006) qui annoncent une perte à la cuisson de 40 à 58% dans les produits animaux ainsi que par Williams (1996) où la perte s'élève à 40% après cuisson et réchauffage pendant 3 heures à 60°C.

La température a donc un effet important sur la perte en B6, même si, comme pour la vitamine B3, la majorité des pertes est due à l'expulsion du micronutriment dans le jus de cuisson ou par lixiviation en fonction du mode de cuisson.

Matériels et méthodes :

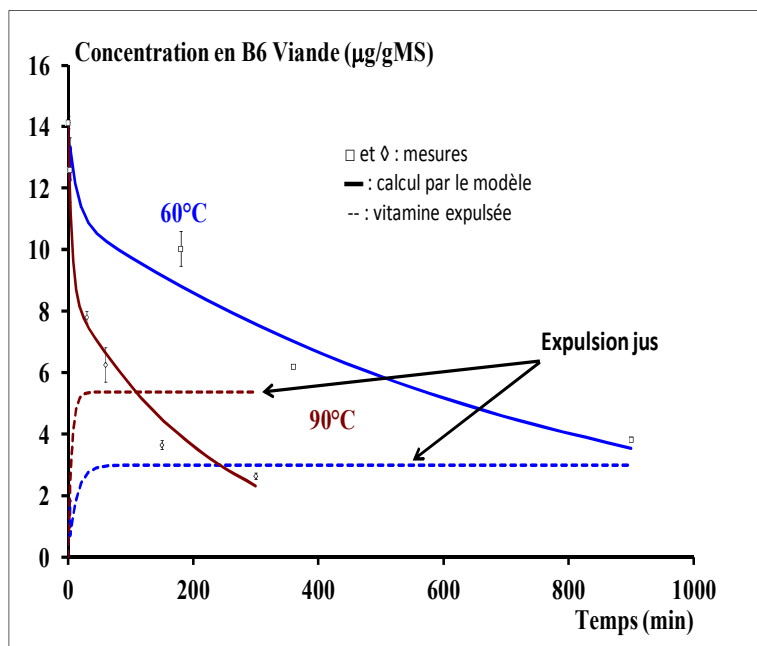
Bovin de race Charolaise de 2-3 ans, 12 jours de maturation sous vide à 4°C.

Deux traitements thermiques qualifiés d'extrêmes ont été appliqués sur de la viande de bœuf (*Semimembranosus SM*, *Longissimus thoracis LT* et *Masseter*) et sur du jus de viande extrait à froid, pour déterminer l'effet du traitement thermique sur la variation de la teneur en micronutriments (dosage vitamine B6, Ndaw et al., 2000). Les deux barèmes temps-température utilisés étaient de 3 minutes à 58°C pour le traitement le moins intense, et d'une heure à 90°C pour le traitement le plus intense.

Des expériences ont également été effectuées pour analyser la concentration en micronutriments dans le jus de viande expulsé lors de la cuisson.

Les jus de viande ont été préparés à partir de SM et de LT d'après les travaux d'Arvidsson et al. (1999).

Résultats et discussion :



SIMULATION

Figure 1 : Evolution de la concentration en vitamine B6 dans les échantillons de viande.

Pour des cubes de 30 mm de côté, la perte de jus est maximale après 30 min de traitement (80% de pertes de vitamine par le jus). Ce phénomène reste majoritaire par rapport à la dénaturation thermique jusqu'à 140 min de chauffage, ceci est valable pour la très grande majorité des modes de cuisson. Mais, cette proportion dépend de l'épaisseur de l'échantillon. Il est donc important de considérer à la fois les pertes par le jus et par la thermo-dénaturation surtout dans le cas d'échantillons épais et chauffés lentement.

Muscle	Temps cuisson (min)	T _c (°C)	Expériences				Modèle
			MS (%)	B6 (µg/g)	B6 (µg/g MS)	Ecart-type (µg/g MS)	B6 (µg/g MS)
Joue	0	/	26,1	1,16	4,4	0,2	
Joue	60	/	38,8	1,29	3,3	0,5	2
Steak LT	0	/	23,3	4,12	17,7	0,5	
Steak LT	4,37	55	28,1	4,39	15,6	0,7	15,6
Roti LT	0	/	22,5	4,02	17,9	1,5	
Roti LT surf	31,68	55	33,7	4,15	12,3	0,8	13
Roti LT centre	31,68	55	28,3	3,86	13,6	0,5	16,1
Roti LT tranche	31,68	55	31,7	4,2	13,2	0,8	14,1
Roti SM	0	/	24,8	3,98	16	1,2	
Roti SM surf	76	55	37,2	3,64	9,8	1	8,1
Roti SM centre	76	55	25,5	4,37	17,1	0,4	13,5
Roti SM tranche	76	55	34,1	4	11,7	0,4	10,6

VALIDATION

Figure 2 : Teneurs en vitamine B6 mesurées dans l'échantillon et prédites par le modèle pour les différentes cuissons correspondant aux expériences de validation.

Conclusion :

L'utilisation de modèles combinés de transferts et de réactions permet de prédire les pertes en micronutriments en tenant compte de la variabilité de la taille des portions de viandes, et pour chaque mode de cuisson, de la variabilité des conditions de traitement rencontrées en pratique (type et réglage de l'appareil de cuisson, conditions de refroidissement...). L'approche illustrée ici, dans le cas des pertes en vitamine B6 d'un type de muscle de bœuf, peut être appliquée à d'autres micronutriments, à d'autres types de muscles, et à d'autres espèces que le bœuf. Les travaux se poursuivent pour prendre en compte la spécificité de la structure de certains tissus animaux riches en vitamines (foie) et le fait que les morceaux ingérés par le consommateur sont hétérogènes et se composent de 2 compartiments (muscle et gras) réagissant différemment à la cuisson.

Etude menée dans le cadre de l'UMT Génie alimentaire appliqué aux produits carnés.

Arvidsson, P., Van Boekel, M.A.J.S., Skog, K., Solyakov, A., Jägerstad, M. (1999). Journal of Food Science, 64, 216-221.

Culioli, J., Berri, C., Mourot, J. (2003). Sciences des Aliments, 23, 13-34.

Ndaw, S., Bergaentzlé, M., Aoudé-Werner, D., Hasselmann, C. (2000). Food Chemistry, 71, 129-138.

Leskova, E., Kubikova, J., Kovacikova, A., Kosicka, M., Porubska, J., Holcikova, K. (2006). Journal of Food Composition and Analysis, 19, 252-276.

Williams, P.G. (1996). Perspectives in Practice, 96, 490-498.

UTILISATION DE LA TOMOGRAPHIE A RAYON X POUR PREDIRE LE RENDEMENT DE DECOUPE DES CARCASSES D'AGNEAUX DANS UN CADRE INDUSTRIEL

NORMAND J.¹, FERRAND M.²

¹ Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 07

² Institut de l'Elevage, Service Biométrie, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12

Abstract: Use of X-ray computed tomography for predicting an industrial lamb carcass lean meat yield

The potential of X-ray computed tomography (CT) to predict an industrial lean meat yield was investigated in lamb. Carcass composition of 158 lambs was determined from CT and industrial cut, following a specification close to the anatomical cut (separating muscle / fat / bone). The results showed that the CT overestimates the percentage of muscle (11.5 points on average) and fat (6.2 points) and underestimates the percentage of bone (-17.4 points) compared to "anatomical" cut. However, the difference remains relatively constant between carcasses and the coefficients of determination (R^2) ranged from 0.8 to 0.9. CT prediction is presently not accurate enough for use by the sheep industry: in 61% of cases, the percentage of muscle evaluated with CT is outside a tolerance interval set at $\pm 2\%$ of the percentage of muscle measured from the cut.

Introduction

De façon prospective, Interbev Ovins, l'interprofession française ovine, s'intéresse à la prédiction du rendement de découpe par la machine à classer australienne VIAScan®. La calibration de cette machine passe par la découpe d'un grand nombre de carcasses suivant un cahier des charges proche de la dissection anatomique. Cette découpe est difficile à standardiser et représente un coût global conséquent (temps de travail important, produits difficilement commercialisables). La tomographie aux rayons X (RX) est utilisée chez l'animal depuis le début des années 1980 pour mesurer la composition corporelle (Skerjvold *et al.*, 1981). Cette méthode non invasive est sensible aux différences de densités des tissus adipeux, osseux et musculaires. Elle permet de reconstruire une image de la carcasse en 3D puis de calculer les proportions volumiques de ces tissus par analyse d'image. Chez le porc, Dobrowolski *et al.* (2004) ont montré que la tomographie RX peut remplacer la dissection avec les avantages suivant : répétabilité, reproductibilité et standardisation du protocole de mesure. Cependant, la teneur en gras intramusculaire est nettement plus variable chez l'agneau que chez le porc. L'objet du présent travail était donc d'évaluer la capacité d'un tomographe RX à prédire le rendement en muscle d'une carcasse d'agneau obtenu dans un cadre industriel.

Matériels et méthodes

Dispositif expérimental. Un échantillon de 158 carcasses d'agneaux a été sélectionné en fin de chaîne d'abattage à l'abattoir de Gramat, pour être représentatif des carcasses habituellement découpées dans la filière ovine française : conformations O et R, états d'engraissement 2, 3 et 4 et gamme de poids de carcasse de 14 à 25 kg. Après environ 24 heures de réfrigération à 4°C, elles ont été scannées par un tomographe RX puis découpées par une équipe de 4 découpeurs spécialisés. Dans un premier temps, elles ont été découpées en 11 pièces suivant un cahier des charges industriel de type agneau « prêt à découper (PAD) » : 2 gigots, 2 épaules, 2 carrés de 13 côtes, côtes filets, 2 poitrines, collier, rognons. Chacune de ces pièces a ensuite été travaillée de façon à séparer les muscles, les gras et les os selon une découpe industrielle de type anatomique. La composition corporelle massique de chaque carcasse a été déduite des pesées de ces différents tissus.

Protocole d'acquisition et traitement des images. Le tomographe RX utilisé dans cette étude est un Siemens Emotion Duo (Siemens, Erlangen, Allemagne). Le protocole d'acquisition des images a été identique pour l'ensemble des carcasses scannées : tension 130 KV, intensité 40 mAs, épaisseur de coupe 3 mm, mode hélicoïdal. Pour chaque carcasse, près de 400 images ont été acquises en environ 1,5 min. Les images ont ensuite été analysées par traitement semi-automatique avec le logiciel ImageJ. Le volume de chaque carcasse a été obtenu en prenant en compte les voxels de l'image (1 voxel = 2,86 mm³) dont le signal était au dessus de -500 unités Hounsfield (UH). Les volumes de muscle, de gras et d'os des carcasses ont été obtenus en prenant en compte les voxels dont le signal était compris respectivement entre 0 et 200 UH, -500 et 0 UH et au dessus de 200 UH.

Traitements statistiques. Le biais moyen entre la composition corporelle mesurée par le tomographe et par la découpe ainsi que la variation de biais ont été testés à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2011). Par ailleurs, pour évaluer la qualité de la prédiction du pourcentage de muscle mesuré lors de la découpe à partir des mesures au tomographe, 3 intervalles de tolérance ont été définis : $\pm 5\%$, $\pm 2\%$ et $\pm 1\%$ du pourcentage de muscle mesuré. La proportion de carcasses dont la prédiction sort de l'intervalle de tolérance a été calculée pour chaque intervalle.

Résultats et discussion

La découpe des carcasses a conduit à la composition corporelle moyenne suivante : 50,5 % ($\pm 2,9$) de muscle, 27,6 % ($\pm 2,1$) d'os et 21,6 % ($\pm 3,9$) de gras. La mesure des carcasses au tomographe a conduit à une composition corporelle moyenne sensiblement différente : 61,9 % ($\pm 4,0$) de muscle, 10,2 % ($\pm 1,2$) d'os et 27,8 % ($\pm 4,0$) de gras. Comparativement à la découpe, la mesure avec le tomographe surestime les pourcentages de muscle avec un biais moyen relativement important (+11,5 points) et significativement différent de 0 (Figure 1). Cependant l'erreur résiduelle entre les deux méthodes de mesure est assez faible (1,28) et le coefficient de détermination (R^2) est relativement élevé (0,80). Cela signifie qu'il existe un décalage entre les deux méthodes de mesure mais que ce décalage est relativement constant d'une carcasse à l'autre et qu'il peut être corrigé. Le tomographe surestime également le pourcentage de gras des carcasses (+6,2 points) et sous-estime le pourcentage d'os (-17,4 points – Tableau 1). Dans cette étude, les pourcentages volumiques des tissus déterminés par le tomographe sont comparés à des pourcentages massiques obtenus lors de la découpe. Ceci pourrait en partie expliquer le biais observé. Cependant, la correction des données du tomographe par la densité des tissus et le poids de carcasse modifie peu les résultats. En revanche, l'imprécision de la découpe industrielle utilisée dans cette étude, notamment une séparation imparfaite des 3 compartiments muscle / gras / os, est très certainement à l'origine des écarts. Dans des travaux sur le porc, Monziols et Daumas (2010) ont rapporté des coefficients de détermination plus élevés (0,95 à 0,99) mais les résultats du tomographe étaient comparés à une réelle dissection anatomique de pièces de viande où les 3 compartiments muscle / gras / os étaient parfaitement séparés.

Afin d'évaluer la capacité du tomographe à prédire le pourcentage de muscle obtenu lors de la découpe, une correction de -11,5 points a d'abord été appliquée à la teneur en muscle mesurée sur chaque carcasse par le tomographe. Pour un intervalle de tolérance fixé à ± 5 % du pourcentage de muscle mesuré lors de la découpe, la mesure du tomographe est en dehors de l'intervalle de tolérance pour 19,6 % des carcasses. Ce pourcentage passe à 60,8 % pour un intervalle de tolérance de ± 2 % et à 80,4 % pour un intervalle de tolérance de ± 1 %. Ces résultats sont assez décevants et du même ordre que ceux obtenus avec la machine à classer Viascan® (Normand et Ferrand, 2011). Le manque de standardisation de la découpe (imprécision sur le niveau de parage des muscles) pourrait en être la cause.

Figure 1. Composition corporelle des carcasses.

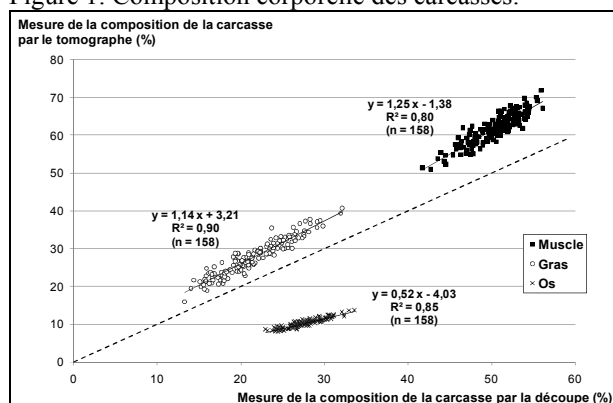


Tableau 1. Composition corporelle des carcasses mesurée à l'aide du tomographe RX et lors de leur découpe.

(n = 158)	% muscle	% gras	% os
Moyenne découpe	50,48	21,62	27,61
Ecart-type découpe	2,87	3,93	2,08
Moyenne tomographe	61,94	27,82	10,24
Ecart-type tomographe	4,03	4,72	1,17
Biais moyen	11,46	6,20	-17,37
Biais moyen relatif	22,70	28,69	-62,90
Erreur résiduelle (RSD)	1,28	1,27	0,81
RSD / Ecart-type (%)	44,69	32,38	38,93
RSD / Moyenne (%)	2,54	5,88	2,94
R^2	0,80	0,90	0,85

Conclusions

Les coefficients de détermination des relations linéaires entre les pourcentages de muscle, de gras et d'os mesurés, d'une part à l'aide du tomographe RX, et d'autre part, par la découpe des carcasses varient de 0,80 à 0,90. Dans l'état actuel de la procédure utilisée, la prédiction du rendement en muscle obtenu lors de la découpe à partir des mesures avec le tomographe est insuffisante pour être utilisé par la filière ovine : dans 61 % des cas, le pourcentage de muscle estimé sort d'un intervalle de tolérance fixé à ± 2 % du pourcentage de muscle mesuré par la découpe. C'est vraisemblablement la mesure de la composition corporelle par découpe anatomique dans un contexte industriel qui est la source de l'erreur de prédiction car, dans ce contexte, la découpe est difficile à standardiser et peu répétable. A l'avenir, il semblerait nécessaire de changer la méthode de calibration de la machine à classer ovine, en s'appuyant soit sur une réelle dissection de la carcasse, soit sur les résultats de la tomographie RX. La prédiction de la machine serait alors déconnectée d'un rendement commercial mais reflèterait la composition corporelle réelle des carcasses.

Ce travail a été conduit avec le soutien financier de FranceAgriMer et d'Interbev Ovins. Les auteurs remercient le pôle ovine de Gramat, l'IFIP et le laboratoire d'analyses et de technologie des viandes de l'Institut de l'Élevage pour leur contribution à cette étude.

Dobrowolski A., Branscheid W., Romvári R., Horn P., Allen P., 2004. Fleischwirtschaft, 84, 109-112.

Monziols M., Daumas G., 2010. Journées de la Recherche Porcine, 42, 231-232.

Normand J., Ferrand M., 2011. Compte rendu Institut de l'Élevage, Interbev Ovins, FranceAgriMer n° 00 11 32 028.

Skjervold H., Gronseth K., Vangen O., Evensen A., 1981. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie, 98, 77-79.

EVOLUTION DE LA PROTEOLYSE AU SEIN DE MUSCLES DE PORC EN FONCTION DE LA TEMPERATURE ET DES TENEURS EN EAU ET EN CHLORURE DE SODIUM

HARKOUSS R.¹, SAFA H.¹, GATELLIER P.¹, LEBERT A.², MIRADE P.S.¹

¹ INRA, UR370 Qualité des Produits Animaux, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

² Institut Pascal, UMR6602 UBP/CNRS/IFMA, 24 Avenue des Landais, BP80026, 63171 Aubière Cedex, France

Abstract: Evolution of proteolysis in pork muscles as a function of temperature and water and sodium chloride contents

Biochemical quantification of proteolysis in dry-cured ham is a major issue because it affects not only the sensory qualities and product characteristics, but also the ease and quality of the slicing process in industry. This biochemical phenomenon is affected by many physicochemical parameters such as salt content, water content, pH and temperature. This work aimed at quantifying the effect of these various physicochemical parameters (except pH) on the evolution of the proteolysis rate of pork meat samples, with the objective of building a function allowing the proteolysis index (PI) to be calculated according to these various factors. Based on Doehlert-type experimental design, samples of three different types of pork muscles have been prepared, salted, dried and placed under different temperature and taken at different times, before determining proteolysis kinetics. The results show that PI is positively correlated to the temperature and the water content, but negatively correlated to the salt content.

Introduction

Une réduction du taux de sel, lors de la fabrication des jambons secs, peut se traduire par des problèmes de texture, pouvant nuire à l'étape de tranchage industriel. La qualité finale d'un jambon sec est liée à l'activité protéolytique (Arnau *et al.*, 1998 ; Toldra *et al.*, 2000), qui dépend du pH, de la température et des teneurs en eau et en sel (Martin *et al.*, 1998). Dans ce contexte, l'étude présentée ici vise à quantifier l'évolution de la protéolyse dans différents muscles de porc, en fonction des paramètres température et teneurs en eau et en chlorure de sodium. L'objectif étant de trouver une loi de variation de la protéolyse pouvant ensuite être intégrée dans un modèle numérique, afin de coupler protéolyse et transferts d'eau et de sel, et ce, en vue de réduire la teneur en sodium lors de la fabrication de jambons secs.

Matériels et méthodes

Préparation des échantillons et plan d'expériences. L'étude a consisté à travailler sur des petits échantillons de 3 muscles différents de porc (*Semitendinosus* ST, *Semimembranosus* SM et *Biceps Femoris* BF), préparés selon un protocole expérimental spécifique permettant de recréer différentes conditions physiques et chimiques (Harkouss *et al.*, 2012). Un plan d'expériences de type surface de réponse (Plan de Doehlert) a été bâti, sur la base de 3 facteurs : température [2-26°C], taux de chlorure de sodium [0-18% par rapport à la matière sèche (MS)] et teneur en eau [50-75% par rapport à la matière totale (MT)] ; le facteur pH n'a pas été étudié, mais les muscles utilisés ont été préalablement sélectionnés, de façon à avoir un pH compris entre 5,6 et 5,9. Ce plan a donc permis de réduire le nombre des essais de 115 à 13 essais par muscle. Chaque essai correspondant à une cinétique de 10 points de mesure de l'indice de protéolyse (IP).

Dosage de la protéolyse. Le niveau de protéolyse des échantillons a été évalué par une technique de dosage par fluorescence (Harkouss *et al.*, 2012). Le nouvel IP correspond au rapport du taux d'acides aminés et de peptides libres sur le taux de protéines totales. Cette technique présente l'avantage d'être rapide, peu coûteuse en quantité de viande et d'être très sensible, du fait de la détection par fluorescence.

Etudes statistiques. Les analyses statistiques des mesures de cinétique de protéolyse ont été effectuées à l'aide de la version '2.12.11' du logiciel 'R'. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée sur l'ensemble des pentes issues des différentes cinétiques obtenues dans le cas des trois muscles ST, SM et BF. Le but était d'étudier et de quantifier l'effet de chacun des facteurs étudiés, ainsi que leur significativité. L'effet muscle a aussi été apprécié. De plus, une régression linéaire multiple a été réalisée, afin de concevoir, pour chaque muscle étudié, un modèle d'évolution protéolytique en fonction de la température et des teneurs en chlorure de sodium et en eau.

Résultats et discussion

La figure 1 représente l'évolution de la protéolyse mesurée à 13°C, pour le muscle ST. Ces cinétiques de protéolyse permettent, d'une part, de montrer l'effet du séchage, et d'autre part, de visualiser l'effet du salage sur les évolutions protéolytiques. Tout d'abord, les courbes bleue et rouge de cette figure permettent de montrer l'effet du séchage. Ces courbes correspondent à des cinétiques pour des échantillons salés à 1% MS, mais séchées différemment : teneurs en

eau de 68% MT et 56% MT, respectivement. L'analyse de ces courbes montre que le séchage exerce un effet inhibiteur sur l'activité des enzymes protéolytiques des muscles de porc, ce qui conduit à freiner la protéolyse. Ensuite, les courbes rouge et verte montrent l'effet du salage sur l'activité des enzymes protéolytiques de la viande de porc (Figure 1). Toutes les deux correspondent à des cinétiques pour des échantillons séchés de manière identique (56% MT), mais salés différemment : 1% MS pour la courbe rouge et 15% MS pour la courbe verte. La comparaison de ces différentes courbes montre que le salage est une étape importante dans le procédé de fabrication du jambon sec. Ce dernier limite et freine l'activité des enzymes protéolytiques dans les muscles de porc. Les effets inhibiteurs exercés par le séchage et le salage sur la protéolyse peuvent être expliqués par le fait que ces deux traitements diminuent l' a_w , qui est un paramètre physicochimique très important pour le déroulement des réactions biologiques, et donc de la protéolyse. De plus, nos résultats ont montré qu'en augmentant la température, la protéolyse s'accélère, ce qui correspond bien avec la littérature, du fait qu'une température élevée permet de fournir une quantité d'énergie suffisante pour activer les protéases musculaires. Les valeurs des pentes de l'ensemble des cinétiques de protéolyse correspondant au plan d'expériences de Doehlert de cette étude, pour les trois muscles ST, SM et BF, varient entre 0,02 et 0,33 %/jour. L'ANOVA effectuée sur les valeurs de ces pentes a montré que la température avait un effet hautement significatif ($p < 0,001$), que la teneur en sel avait un effet très significatif ($p < 0,01$) et que la teneur en eau avait un effet significatif ($p < 0,05$) sur l'évolution de la protéolyse. Par contre, aucune différence significative ($p > 0,05$) sur les évolutions protéolytiques entre les trois types de muscle de porc étudiés n'a été décelée. Un modèle d'évolution protéolytique a ensuite été construit pour chaque muscle, à l'aide d'une régression linéaire multiple. Dans le cas du muscle ST, le modèle d'évolution protéolytique construit correspond à l'équation ci-dessous ; le coefficient de détermination multiple obtenu est élevé (0,92), ce qui montre que ce modèle a un bon ajustement.

$$\text{Pente (IP)} = 6,392 \cdot 10^{-2} - 2,076 \cdot 10^{-2} T + 1,017 \cdot 10^{-2} S - 1,518 \cdot 10^{-3} E + 5,434 \cdot 10^{-4} T^2 + 2,527 \cdot 10^{-4} S^2 + 1,35 \cdot 10^{-5} E^2 - 1,162 \cdot 10^{-3} T S + 3,735 \cdot 10^{-4} T E - 6,686 \cdot 10^{-5} S E$$

avec T : température (°C), E : teneur en eau (% MT) et S : teneur en chlorure de sodium (% MS).

La figure 2 montre la surface de réponse du modèle d'évolution protéolytique du muscle ST calculé à 2% MS de sel. En augmentant la température, le taux de protéolyse progresse rapidement, surtout si la teneur en eau est élevée. Par contre, une augmentation de la teneur en chlorure de sodium va freiner l'activité protéolytique (Figure 2).

Figure 1. Effet du séchage et du salage sur l'évolution de la protéolyse mesurée dans un muscle ST de porc, à 13°C.

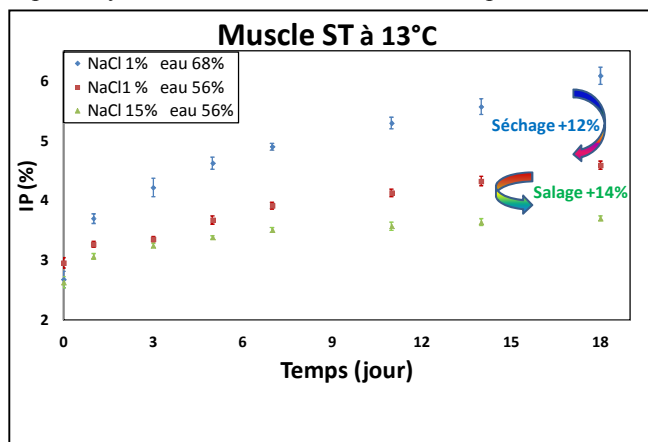
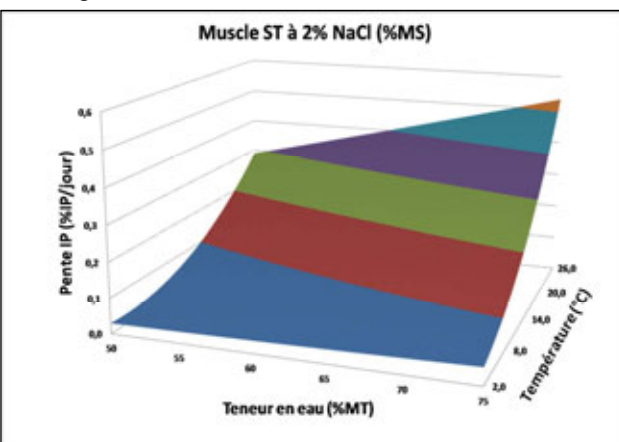


Figure 2. Pente de l'indice de protéolyse pour un muscle ST de porc salée à 2% MS de chlorure de sodium.



Conclusions

Les évolutions protéolytiques des 3 muscles de porc étudiés sont (1) fortement accélérées par l'augmentation de la température, (2) retardées par la réduction de la teneur en eau, du fait du séchage, et (3) efficacement inhibées par l'ajout d'une forte quantité de chlorure de sodium. De plus, ces résultats montrent que le type de muscle n'a aucun effet significatif sur la protéolyse. Dans l'industrie, c'est donc la position géométrique de chaque muscle dans le jambon qui fait que les indices de protéolyse mesurés à un moment donné diffèrent d'un muscle à l'autre, du fait des phénomènes physiques de transferts qui font que les teneurs en eau et en chlorure de sodium sont différentes.

Ce travail a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet ANR-09-ALIA-013-01 "Na-". Il a été mené dans le cadre de l'UMT 11-02 APROCEL.

Arnau J., Guerrero L., Sárraga C., 1998. J. Food Sci. Agr., 77, 387-392

Harkouss R., Mirade P.S., Gatellier P., 2012. Meat Sci., 92, 84-88.

Martín L., Córdoba J.J., Antequera T., Tímon M.L., Ventanas J., 1998. Meat Sci., 49, 145-153.

Toldrá F., Flores M., 2000. Food Chem., 69, 387-395.

IMPACT DU BAREME DE CUISSON ET DU TYPE DE MUSCLE SUR LA COULEUR, LA TEXTURE ET LES PERTES A LA CUISSON DE VIANDES BOVINES CUITES SOUS VIDE

PICGIRARD L. ⁽¹⁾

(1) ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, 63 039 Clermont-Ferrand Cedex 02

Abstract: Influence of muscle and cooking parameters on colour, texture and cooking losses of beef roasts cooked under vacuum.

Low temperature cooking of beef meat needs to find a compromise between tenderness, loss cooking control and red colour preserving at product core whatever muscle used. Cooking time has the most significant impact on cooking losses and internal colour of beef roasts cooked under vacuum Type of muscles has only slight effects on cooking losses and has no role on red colour at core. However, this parameter is the most influential on roasts tenderness. Using of long cooking time at 60°C or 63°C ambient temperature decreases cooked roasts quality, especially red colour and cooking losses. These results can allow to improve quality of cooked roasts proposed to consumers in school restaurants.

Introduction

La cuisson sous vide de rôtis à basse température est souvent une opération délicate à conduire puisqu'il faut trouver un compromis souvent difficile entre la conservation du caractère saignant à cœur du rôti, une tendreté satisfaisante, la maîtrise des pertes en jus, et un temps de mobilisation adapté de l'équipement de cuisson. De ce fait, la qualité des rôtis précuits proposés par l'industrie pour la restauration collective, est souvent insuffisante. L'enquête conduite par l'Institut de l'Élevage au profit d'Interbev et de France Agrimer sur la qualité de la viande bovine servie dans les restaurants scolaires selon ces modes de cuisson l'a démontré (Interbev, 2010). Ce résultat peut être expliqué par des barèmes de cuisson insatisfaisants au regard de la tendreté. En effet, si la cuisson basse température attendrit la fraction collagénique de la viande, elle durcit la fraction myofibrillaire (Culioli, 1994 ; Picgirard, 2009). L'utilisation de barèmes adaptés est donc capitale. De plus, la tendreté initiale des muscles avant cuisson peut être très variable ce qui rend difficile, pour les producteurs de viandes précuites, d'utiliser des barèmes de cuisson polyvalents apportant une satisfaction totale notamment quand il s'agit de muscles à tendreté intermédiaire. Les résultats présentés se positionnent dans le cadre d'une étude plus large conduite par l'ADIV et l'Institut de l'Élevage dont l'objectif est d'améliorer la qualité globale des rôtis cuits servis en restauration collective. Les travaux de l'ADIV se concentrent sur la cuisson sous vide utilisée par les industriels pour servir la Restauration Hors Domicile (R.H.D.), ceux de l'Institut de l'Élevage sur les techniques de cuisson employées dans ces restaurants.

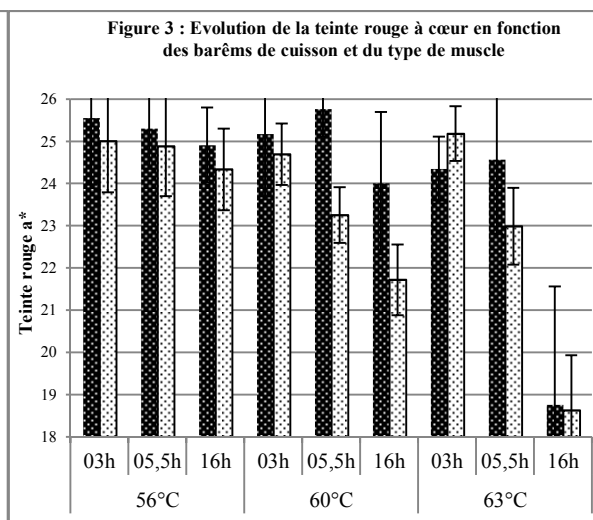
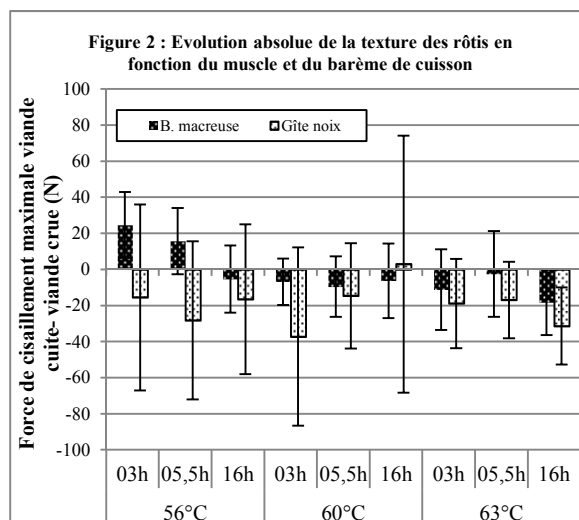
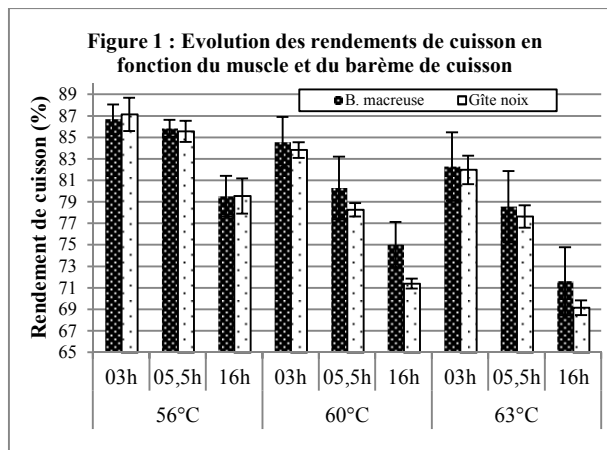
Matériels et méthodes

L'objectif des travaux présentés était de pouvoir mesurer l'impact de différents barèmes de cuisson sur la texture, la couleur et les pertes à la cuisson de rôtis cuits sous vide. 3 températures de cuisson ont été employées : 56°C, 60°C et 63°C. 63°C correspond à la température réglementaire à laquelle les restaurants de cuisines collectives doivent servir les plats proposés aux convives en liaison chaude. L'emploi de température de cuisson moindres nécessitent pour elles de construire une analyse de dangers microbiologiques. Deux muscles ont été étudiés : la boule de macreuse (*triceps brachii*) et le gîte noix (*biceps femoris*). 6 animaux issus de cheptel charolais de réforme ont servi aux expérimentations. Pour 2 carcasses, les muscles gauches ont été cuits à 56°C et les droits à 60°C ; pour 2 autres, les muscles gauches à 60°C et les muscles droits à 63°C. Enfin, pour les 2 derniers, les muscles gauches ont été cuits à 56°C et les droits à 63°C. Avant cuisson, chaque muscle a été découpé en 3 tronçons de 800g environ et d'épaisseur homogène. Chaque tronçon a été cuit avec des temps différents : 3h (1/2 journée de travail), 5,5 h (1 journée de travail) ou 16h (1 nuit). Pour information, le temps nécessaire pour que les rôtis atteignent à cœur les températures d'ambiance est de 3h. Les rôtis ont été cuits sous vide sans grillage préalable dans un four de collectivité de marque Bonnet[®], en mode vapeur. Après cuisson, les rôtis ont été refroidis. Une semaine après cuisson, ont été mesurées pour chaque rôti : les pertes à la cuisson par pesée, la teinte rouge a*, à l'aide d'un chromamètre Minolta[®] CR200 et la texture par la méthode Warner-Bratzler sur un équipement TAXT2[®]. 10 mesures de texture par muscle ont été réalisées sur chaque muscle cru avant cuisson. Après cuisson, 5 mesures par tronçon de viande, soit 20 mesures pour un temps x une température de cuisson, ont été réalisées. La différence des valeurs des forces maximales de cisaillement des échantillons à l'état cru et cuit a permis de mesurer l'effet « attendrissant » des 9 barèmes de cuisson testés (3 températures x 3 temps).

Résultats et discussion

Une analyse de variance effectuée sur les valeurs de rendements de cuisson (figure 1) montre que l'effet temps est le facteur qui a le plus d'influence ($p < 0,001$) suivi de l'effet température de cuisson ($p < 0,001$). L'effet du muscle est significatif mais plus faible ($p < 0,05$). Quel que soit le temps de cuisson, la température de 56°C permet de limiter de manière significative les pertes à la cuisson des deux muscles. A 60°C et 63°C, les temps de 16h induisent de fortes pertes de jus à la cuisson. En ce qui concerne l'effet « attendrissant » de la cuisson basse température (figure 2), la nature du muscle est le facteur qui a le plus d'influence ($p < 0,001$) puis l'effet température de cuisson ($p < 0,05$). Dans ce plan expérimental, le temps de cuisson n'aurait pas d'effet significatif ce qui est curieux compte tenu de l'impact de ce paramètre pour favoriser la gélatinisation du collagène. On constate d'ailleurs, pour les boules de macreuse uniquement, un durcissement de la viande après des cuissons de 3h et 5,5h à 56°C. Dans les autres cas, la cuisson a un effet « attendrissant » sur les rôtis.

Enfin, tous les paramètres testés ont une influence significative sur la teinte rouge a^* des produits après cuisson ($p < 0,001$) les facteurs les plus significatifs étant par ordre décroissant : le temps de cuisson, la température de cuisson puis le type de muscle. Quelque soit le temps de cuisson, la température de 56°C permet de conserver le caractère saignant du produit. A 60°C et 63°C, les temps de cuisson de 5,5 h et de 16 h induisent une forte chute de la teinte rouge des gîtes noix. Enfin, un barème de cuisson de 16h à 63°C altère de manière très importante la couleur rouge des rôtis indépendamment de l'origine musculaire.



Conclusion

Les résultats des essais réalisés montrent que le barème de cuisson sous vide à basse température a une influence capitale sur les caractéristiques organoleptiques des produits finis. Les barèmes permettant de concilier rendement de cuisson, tendreté et couleur rouge à cœur (saignant) sont des barèmes de 16h à 56°C ou des barèmes inférieurs à 5,5 h à 60°C ou 63°C.

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

Culioli J., 1994. *VPC* 15(5) – p 159-164.

Interbev, 2010. Evaluation de la qualité de la viande bovine servie dans les restaurants scolaires selon les modes de cuisson. Rapport d'étude.

Picgirard L., 2009. *VPC* 27(6) p 192-196.

UN SIMULATEUR POUR L'ETUDE DU MALAXAGE DES VIANDES ; INCIDENCE DU TRAITEMENT MECANIQUE SUR LE TRANSFERT DU SEL

SHAREDEH D., AUBERGER J.M., FAVIER R., PORTANGUEN S., DAUDIN J.D.
UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

Abstract

Tumbling is a key step in the manufacture of processed meat. However mechanical treatment undergone by meat pieces which determine process yield and product quality cannot be characterized in tumblers. This paper describes a new laboratory device to study the effect of controlled mechanical treatments on mass transfer, protein solubilisation, histological changes... It was designed to reproduce on an individual piece of meat the constraints and deformations that are promoted in tumblers of various designs and sizes. In addition, experiments carried out with pork *Semimembranosus* muscles showed that, compared with raw meat, NaCl transfer increases by 20 % when mechanical treatment is applied beforehand brining and by 200 % when it is applied during brining.

Introduction

Une étape clé de la fabrication de divers produits carnés cuits est le malaxage ou « barattage », cette opération est effectuée dans des barattes qui tournent entre 4 et 16 tours par minute pendant plusieurs heures. Ceci améliore la migration du sel (Siro *et al.*, 2009 ; Dolata *et al.*, 2004), la solubilisation des protéines (Ghavimi *et al.*, 1987) , le rendement de cuisson (Krause *et al.*, 1987) et la tendreté et la jutosité du produit (Hullberg et Lundstrom, 2004 ; Patissier *et al.*, 2011). Le but de ce travail est (1) de mettre au point un simulateur de malaxage de laboratoire permettant de contrôler et de mesurer les sollicitations mécaniques subies par les échantillons et (2) de quantifier l'impact de ces dernières sur le transfert de NaCl.

Matériels et méthodes

Le fonctionnement du simulateur de malaxage (figure 1)

Un morceau de viande est emballé dans un filet élastique mince ayant un effet mécanique négligeable. Ce filet est relié à chaque extrémité à une roue motorisée faisant tourner l'échantillon, de 4 à 12 tours par minute, de sorte que sa surface soit toujours enduite de saumure. Un système mécanique spécifique entraîne le piston (P) qui se déplace de façon linéaire pour provoquer des compressions de l'échantillon dont la rotation est alors arrêtée.

Un essai consiste à appliquer plusieurs centaines de compressions successives. Deux modes de fonctionnement permettent de simuler les deux principales actions mécaniques dans une baratte :

Figure 1 : principe de fonctionnement du simulateur de malaxage. 1 - Une compression courte (0,1 à 1,0 s) simule la déformation d'une pièce de viande en fin de chute dans une baratte. Un taux de compression (TC) prédéfini, entre 10 et 50% de la hauteur totale de l'échantillon est alors appliqué de façon à avoir la même énergie que celle d'une chute. La force de réaction de l'échantillon est mesurée par les capteurs de force solidaires du piston à une fréquence de 100 Hz.

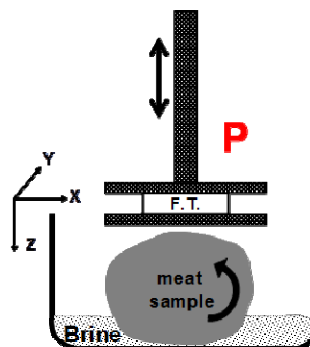
2 - Une compression longue (typiquement de 2 à 6 s) simule l'écrasement dû à une couche de viande au-dessus d'une pièce lorsque celle-ci remonte dans une baratte. Dans ce cas c'est la force de compression qui est prédéterminée, la position du piston est alors mesurée. La force imposée peut varier d'une compression à l'autre pour simuler différentes épaisseurs du produit.

L'aire délimitée par les diagrammes force-déplacement, tels que ceux de la figure 2, permettent de calculer l'énergie mécanique transmise à l'échantillon pendant chaque compression.

Évaluation de la diffusivité apparente du NaCl (D)

Quand un muscle (semi-membraneux de porc, pH = 5,6) subissait un traitement mécanique, les conditions suivantes étaient appliquées : durée du traitement 5 h, température 4°C, 2 500 compressions d'une durée individuelle de 0,5 s séparées par des périodes de repos de 6,7 s et TC égal à 35%.

Quatre types d'essais ont été réalisés: (1) saumurage statique d'échantillons prélevés soit d'un muscle brut ou (2) sur un muscle ayant subi un traitement mécanique préalable sans saumure, (3) saumurage dans le simulateur sans traitement mécanique ou (4) avec traitement mécanique. Dans ce dernier cas, la saumure contenait 13% en



masse de NaCl. La diffusivité apparente du NaCl a été évaluée en utilisant les profils mesurés de la teneur en NaCl dans les échantillons par une solution analytique de la deuxième loi de Fick (Daudin et Lebert, 2009).

Résultat et discussion :

La figure 2 présente 2 cycles de compressions extrêmes mesurés au cours de l'essai 4 ; la force maximale atteinte qui dépend du taux de compression maximum est de 340 et 150 N pour les cycles 1 et 2. Ceci vient du fait que le muscle n'est pas rond. La hauteur à laquelle le piston touche le muscle n'est pas constante (7,8 et 10,5 mm pour les cycles 1 et 2) et donc TC varie pour une course de piston fixe. De même, l'énergie (E) fournie au muscle varie, elle est égale à 855 et 478 mJ pour les cycles 1 et 2, respectivement.

Les variations de F_{max} et E sont quasi périodiques. La longueur de la période, ici d'environ 3 minutes, est fonction de la fréquence relative des cycles de compression et de rotation du muscle ; cela indique que toutes les 3 minutes le piston comprime le muscle à la même position. La figure 3 montre que l'énergie de compression moyenne est égale à 0,7 J. Cette valeur correspond à un morceau pesant 500 g chutant de 14 cm ou de 300 g chutant de 24 cm.

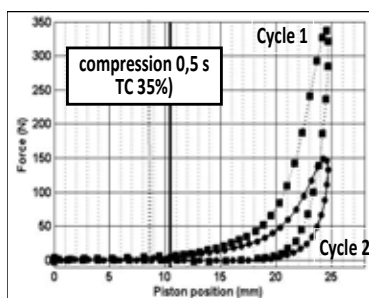


Figure 2 : deux cycles de compression correspondant aux carrés noirs de la figure 3.

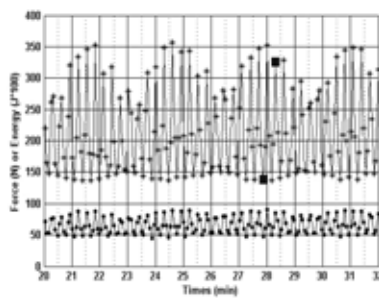


Figure 3: Exemple de la variation de F_{max} et E pendant quelques minutes.

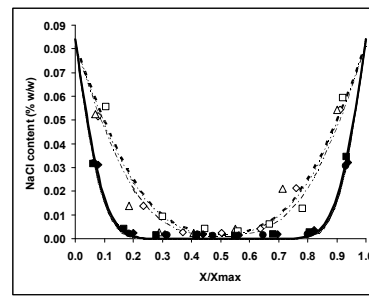


Figure 4 : Profils de NaCl symboles blancs (cas 4), symboles noirs (cas 3) et courbes calculées par une solution analytique de la loi de Fick.

La figure 4 présente les profils de teneurs en NaCl mesurés le long d'un 'diamètre' de la section droite des muscles des essais 3 et 4. Les courbes correspondent aux valeurs calculées par une solution analytique de la loi de Fick, en ajustant la valeur de la diffusivité apparente du NaCl de façon à minimiser les écarts entre les valeurs expérimentales et mesurées. La même démarche a été appliquée aux échantillons des essais 1 et 2.

Une différence statistiquement significative ($p < 0,05$) a été trouvée entre la diffusivité apparente estimée pour les cas 1 et 2 ; les valeurs moyennes de D étaient respectivement égales à $4,5 \pm 0,3$ et $5,4 \pm 0,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, soit une augmentation d'environ 20% due au traitement mécanique préalable.

L'augmentation de la valeur de la diffusivité apparente était beaucoup plus importante entre les essais 3 et 4. Dans le cas du malaxage saumurage (cas 4), D est égal à $17,7 \pm 3,7 \cdot 10^{-10}$ alors qu'il est égal à $5,0 \pm 0,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les échantillons seulement saumurés (cas 3), soit une augmentation supérieure à 200%. Ceci est en cohérence avec les estimations de Siro *et al.*, 2009 qui avait comparé des diffusivités apparentes du NaCl en saumurage statique et dans une baratte industrielle. Deux phénomènes possibles peuvent être à l'origine de cette augmentation: (i) pendant le saumurage les modifications structurales provoquées par le traitement mécanique sont renforcées par la présence du NaCl et/ou (ii) la déformation de la viande entraîne une convection de saumure dans la viande dont l'efficacité vis-à-vis de la migration est bien supérieure à celle de la diffusion.

CONCLUSION

Le simulateur de laboratoire permet d'appliquer à des morceaux de viande des traitements mécaniques qui sont contrôlés et représentatifs de ce qui se produit dans les barattes. Un traitement mécanique combiné à la présence de NaCl améliore considérablement le transfert de masse. Des essais complémentaires sont nécessaires pour élucider les mécanismes en cause.

Cette étude a reçu un soutien financier de l'ANR [projet Na⁺, ANR-09-ALIA-013-01]

- Siro I., Ven C., Balla C., Jonas G., Zeke I., Friedrich L., 2009. Food Engineering, 91, 353-362.
Dolata W., Piotrowska E., Wajdzik J., Tritt-Goc J., 2004. Meat Science, 67, 25-31.
Ghavimi B., Althen T.G., Rogers R.W., 1987. Food Science, 52, 543-544.
Krause R.J., Ockerman H.W., Krol B., Moerman P.C., Plimpton J.R., 1978. Food Science, 43, 853-855
Hullberg A., Lundstrom K., 2004. Meat Science, 67, 409-419.
Pâtissier E., Picgirard L., Parafita E., 2011. In Proceedings 57th ICoMST, 7-12 August 2011, Ghent, Belgium.
Daudin J.D., Lebert A., 2009. In Proceedings 55th ICoMST, 16- 21 August 2009, Copenhagen, Denmark.

DÉGRADATION DE L'ENDOMYSIUM LORS DU SALAGE ET DU MALAXAGE DE DEUX MUSCLES DE PORC

SHAREDEH D., CHEKRAR F., DAUDIN J.D., VÉNIEN A.

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

Abstract: Degradation of the endomysium during brining and tumbling of two pork muscles

Tumbling is a key step in the manufacture of cooked processed meat. The aim of this study was to characterize the effect of tumbling-brining processes at the tissue scale in a practical context of NaCl content reduction. The experiments were performed with a laboratory simulator that allows to control and measure the mechanical treatments applied to one piece of meat. Damages promoted to the tissue structure of two pork muscles were assessed using microscopic images specifically stained to analyse either the basal lamina or the *endomysium*. Basal lamina detachment was observed and a class of elements which surface is higher than 20 000 μm^2 revealed *endomysium* degradation. This degradation is more marked in the deep part of the muscles than at their periphery.

Introduction :

Une étape clé de la fabrication de produits carnés cuits est le malaxage ou « barattage », préalable à la cuisson, qui impose des sollicitations mécaniques aux pièces de viande pendant plusieurs heures. Ce malaxage favorise la pénétration et la répartition de la saumure dans le produit et provoque des modifications biochimiques et structurales qui affectent le rendement de cuisson et les qualités sensorielles, dont en premier lieu la texture. Le but de ce travail est de caractériser les modifications histologiques dues à ces sollicitations mécaniques en interaction avec la présence de NaCl.

Matériels et méthodes :

Différents traitements ont été appliqués à 4°C, à des muscles *Rectus femoris* (RF) et *Semimembranosus* (SM) de porc, sur le simulateur de malaxage du laboratoire (Sharedeh *et al.*, 2012). Les traitements mécaniques consistaient en une succession de N compressions (soit 2 500, soit 350) d'une durée de 0.5 s chacune séparées de périodes de repos de 6.7 s. Les compressions étaient appliquées perpendiculairement à l'axe principal du muscle. Une compression était caractérisée par un taux de compression (TC) égal au rapport de la hauteur de compression sur l'épaisseur du muscle. Il n'y avait pas de saumure lors de l'essai 1 et, lors des essais 2, 3 et 4 des concentrations en NaCl variables (Tableau 1).

Tableau 1 : caractéristiques des traitements appliqués aux muscles dans le simulateur de malaxage.

N° d'essai	Teneur en sel de la saumure (g/L)	TC %	Durée (min)	N	Muscle
1- Pas de saumure	0	30	300	2500	SM
2 – Sérum physiologique	9	30	300	2500	RF et SM
3 - Traitement intense	130	30	300	2500	RF et SM
4 - Traitement léger	50	10	45	350	RF et SM

Après traitement, une tranche d'épaisseur 1 cm et orthogonale à l'axe principal du muscle était découpée à mi-longueur du muscle, puis trois échantillons parallélépipédiques (1x1x0.5 cm) étaient prélevés sur un 'rayon' à plusieurs distances de la surface : près de la surface (S), au 'milieu' (M) et à mi-distance entre les deux précédentes (I). Ces prélèvements, et les prélèvements témoins effectués sur les muscles avant traitement, étaient cryofixés par congélation ultra-rapide dans un bain d'isopentane (température -160°C) refroidi par l'azote liquide pendant 30 secondes, puis stockés à -80°C jusqu'à utilisation.

Des coupes histologiques (épaisseur 10 μm), perpendiculaires au sens des fibres, ont été réalisées sur chaque prélèvement, puis le tissu conjonctif a été coloré au Rouge Sirius (RS). De plus, lors de l'essai 1, la laminine, composant de la lame basale, a été mise en évidence par immunohistofluorescence grâce à un anticorps de lapin anti-laminine (Sigma), révélé à l'aide d'anticorps secondaires de chèvre anti-IgG de lapin couplé à la cyanine 3 (Jackson). Les images ont été réalisées, à l'objectif X20, à l'aide d'un microscope optique à transmission Olympus BX 61 équipé d'une caméra numérique couleur Olympus DP 71 et du logiciel Cell[^]F. Elles ont été analysées (logiciel ImageJ) en recherchant des indicateurs caractéristiques des modifications histologiques observées.

Résultats et discussion :

La figure 1 présente des exemples représentatifs de coupes sur lesquelles la lame basale est mise en évidence (essai 1). Sur la coupe témoin, elle entoure chaque fibre musculaire, alors qu'il apparaît des décollements des cellules en de nombreux endroits sur la coupe issue du prélèvement S. La surface de ces espaces de décollement délimités par la lame basale a été mesurée sur 12 images correspondant à une surface totale de $144\,915\ \mu\text{m}^2$. Une augmentation significative ($p < 0.001$) a été observée pour les prélèvements S ($8\,640\ \mu\text{m}^2$) par rapport aux témoins ($2\,490\ \mu\text{m}^2$). Elle était non significative pour les prélèvements M et I ($4\,484$ et $3\,019\ \mu\text{m}^2$ respectivement). La circularité de ces décollements diminue de 0.85 pour les témoins à 0.4 pour tous les échantillons ayant subi le traitement mécanique.

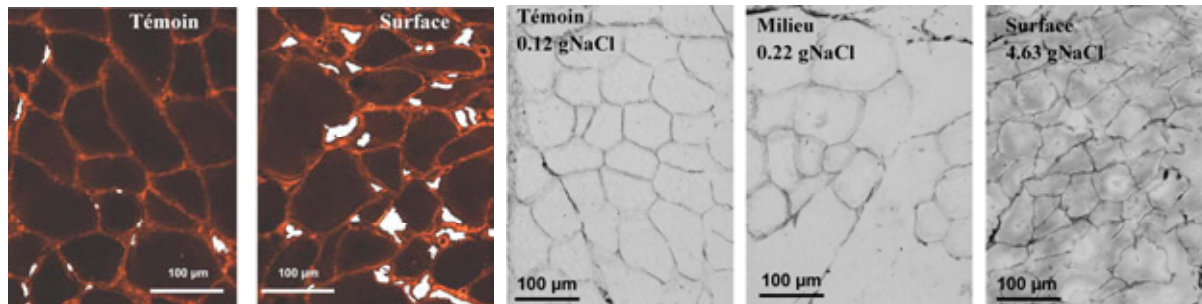


Figure 1 : exemple de marquage par immuno-histofluorescence de la laminine (SM essai 1)

Figure 2 : exemple de coloration au Rouge Sirius (RF essai 3)

La figure 2 montre qu'après traitement mécanique le tissu conjonctif inter cellulaire, ou *endomysium*, est dégradé, surtout vers le milieu du muscle. En surface, là où le NaCl a le plus pénétré, les fibres sont colorées en orange, indiquant que le composant rouge du RS a pu pénétrer ; ceci suggère une dégradation des parois cellulaires qui reste à confirmer par microscopie électronique.

La figure 3 montre que les éléments séparés automatiquement sur les coupes RS des échantillons témoins ont une aire très majoritairement inférieure à $6\,000\ \mu\text{m}^2$; ces éléments correspondent aux fibres musculaires dont certaines sont tronquées sur les images car situées sur les bords. Le traitement mécanique a eu pour effet de faire apparaître des éléments d'aire supérieure à $20\,000\ \mu\text{m}^2$ (Figure 4). Cette classe, négligeable pour les échantillons témoins, peut donc être considérée comme un bon indicateur de l'effet du traitement mécanique. Dans le cas du muscle RF, elle atteint 20 % de l'effectif total après un traitement intense et environ 10 % après traitement léger ou dans le sérum physiologique. La même tendance, mais atténuée, est observée avec le muscle SM. La dégradation est presque toujours croissante selon l'ordre S, I et M, suggérant que les déformations locales sont plus efficaces au milieu du muscle.

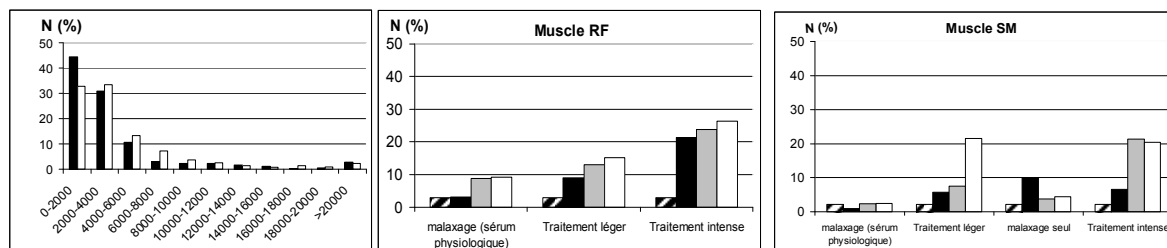


Figure 3 : répartition des aires des éléments séparés par analyse d'image. Coupes RS. Témoins SM □ et RF ■

Figure 4 : pourcentage du nombre d'éléments ayant une surface supérieure à $20\,000\ \mu\text{m}^2$. Coupes RS. Témoins , surface , intermédiaire , milieu

Conclusion et perspectives :

Le traitement mécanique provoque, d'une part, le décollement des fibres musculaires, et d'autre part, une dégradation de l'*endomysium* beaucoup plus marquée au milieu qu'en périphérie du muscle malaxé. Ces modifications, d'autant plus importantes que le traitement mécanique est intense et prolongé, peuvent être quantifiées par une analyse d'image complètement automatique de nombreuses coupes histologiques. Des essais complémentaires permettront de confirmer si le muscle RF est plus sensible que le muscle SM et d'éclaircir l'interaction entre le traitement mécanique et la présence de NaCl.

Cette étude a reçu un soutien financier de l'ANR [projet Na-moins, ANR-09-ALIA-013-01]

Sharedeh D., Auberger J.M., Favier R., Portanguen S., Daudin J.D., 2012, in 14^{ième} JSMTV, Novembre, Caen.

NOIRCISSEMENT DES OS : EVALUATION DES FACTEURS DE RISQUE CHEZ LE VEAU DE BOUCHERIE

BIECHE C.¹, LEGRAND I.², TURIN F.¹, HARDIT V.¹

¹ Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, Route d'Epinay, 14310 Villers Bocage

² Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, Maison Régionale de l'Agriculture du Limousin, Boulevard des Arcades, 87060 Limoges Cedex 2

Abstract

Bone discoloration: risk factor evaluations in veal meat industries

Bone discoloration is a serious issue for the veal meat industry: during veal rib storage under high oxygenated atmosphere, bone marrow is likely to be oxidized and so to blacken, which can cause important economical losses. This study dealt with the risk evaluations of three processing factors on color change during 11 days of chilled storage under a 70% O₂ / 30% CO₂ atmosphere. The results showed (1) that cooling before cutting up veal rib roasts during 20 min at -25°C is better than during 1 night at -2°C, (2) that the delay between slaughtering animals and slashing veal carcasses (1 or 3 days) have no incidence and (3) that increasing the maturation time from 4 to 6 days before ribs packaging is slightly detrimental.

Introduction

La filière veau utilise depuis des années des conditionnements en UVCI sous atmosphères suroxygénées qui permettent de maintenir la couleur des viandes rouge et désirable. En revanche, cela provoque en parallèle un phénomène de ternissement, voire de noircissement des os, dû à l'oxydation de la moelle osseuse. Cette altération de la couleur d'une partie du produit occasionne de lourdes méventes pour les industriels du secteur. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de trois pratiques mises en œuvre par les entreprises de découpe de veau sur la cinétique de noircissement des os de côtes de veau pendant leur conservation en UVCI suroxygénées : le raidissage des carrés avant découpe des côtes, le délai entre l'abattage et la fente de la carcasse et la durée de maturation entre l'abattage et le conditionnement des côtes.

Matériels et méthodes

Les étapes de la fabrication étudiées sont le raidissage des carrés (refroidissement des carrés pour faciliter la découpe des côtes), le délai de fente (entre l'abattage et la fente de la carcasse), et la durée de maturation avant découpe. Deux essais ont été réalisés :

- Essai 1- Comparaison de 2 modalités de raidissage sur 12 animaux : un raidissage « intense » de 20 min à -25°C (pratique courante) et un raidissage « doux » d'une nuit à -2°C (pratique issue de la littérature), avec des carrés issus de carcasses ayant été fendues 1 jour après l'abattage, et maturés 4 jours avant découpe.
- Essai 2 - Comparaisons de 2 délais de fente (1 et 3 jours) et de 2 durées de maturation avant découpe des carrés (4 et 6 jours) sur 24 animaux (le raidissage des carrés utilisé étant de 20 min à -25°C).

Toutes les côtes ont été conditionnées individuellement sous atmosphère suroxygénée (70% O₂ et 30% CO₂) et conservées 8 jours à 2°C puis 3 jours à 8°C. Les observations ont eu lieu à J+3, J+5, J+7, J+9 et J+11 après conditionnement.

Les mesures du noircissement des os mises en œuvre lors de la conservation sont à la fois sensorielles (S) et instrumentales (I). Les observations sensorielles, réalisées par un jury de 4 experts sur 48 produits par date d'observation, décrivent en parallèle l'évolution de l'acceptabilité de la couleur des os et de l'impression globale des échantillons : couleur des viandes, exsudat, odeur, impression générale. Quel que soit le critère les notes allaient de 1 (inacceptable) à 5 (excellente conservation), 3 étant la limite d'acceptabilité. La mesure instrumentale est faite au Chromamètre CR 400, sur les mêmes côtes que celles ayant servi à l'analyse sensorielle à chaque date d'observation ; une diminution du rapport a^*/b^* indique une dégradation de la couleur des os. Dans la suite de ce document, Sm représentera la moyenne des notes sensorielles de la couleur des os et Im celles des mesures des rapports a^*/b^* , calculées respectivement sur la durée totale de la conservation.

Résultats et discussion

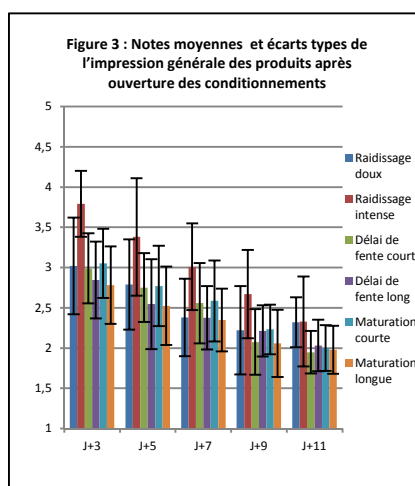
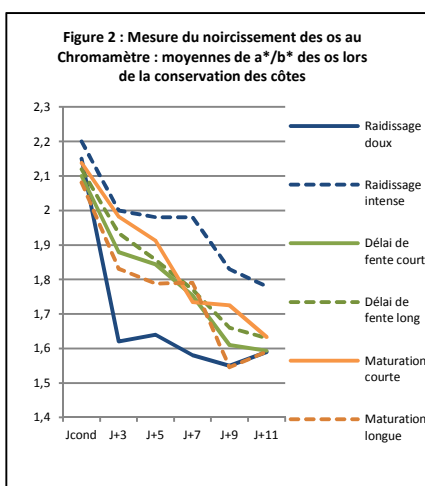
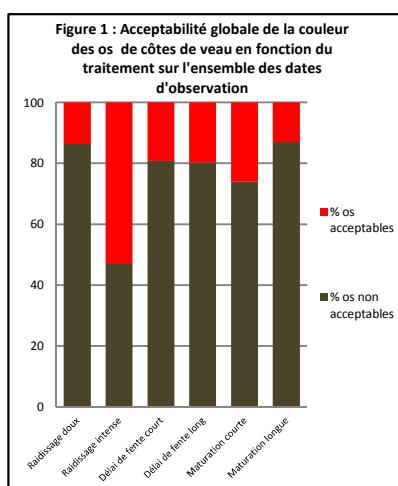
Les résultats montrent clairement que le raidissage est une étape clé vis-à-vis du problème du noircissement des os : un refroidissement des carrés avant découpe d'une nuit à -2°C est préjudiciable par rapport à un raidissage de 20 minutes à -25°C : Sm est plus importante de 0,66 points dans ce dernier cas. Les notes moyennes aux différentes dates d'observation

descendent chronologiquement de 2,60 à 2,04 pour le raidissage doux et de 3,46 à 2,42 pour le raidissage intense. Ainsi, sur l'ensemble des 5 dates d'observation, 53,1 % des produits issus du raidissage intense ont des os acceptables, face à seulement 13,7% pour les produits issus du raidissage doux (fig. 1). Ces tendances sont confirmées par l'évolution des rapports a^*/b^* des os mesurés au Chromamètre : Im est égale à 1,69 pour le raidissage doux contre 1,96 pour le raidissage intense, et les valeurs a^*/b^* relatives au premier traitement étant systématiquement inférieures à celle du second à chaque date d'observation (fig. 2). Concernant le délai de fente, son impact est négligeable sur la stabilité de la couleur des (fig. 1 et 2) ; les valeurs de Sm sont égales à 2,43 pour le délai de fente court et de 2,40 pour le délai de fente long, pour des valeurs de Im respectives de 1,80 et 1,82 ; ces différences ne sont pas significatives étant données la précision des mesures effectuées (erreurs types sur les Im de 0,22).

On observe un léger effet négatif de l'allongement de 4 à 6 jours du temps de maturation entre l'abattage et la découpe des carrés sur la stabilité de la couleur des os (fig. 1 et 2) : les valeurs de Sm passent de 2,52 pour 4 jours à 2,31 pour 6 jours, et celles des Im de 1,85 à 1,77 (différence non significative pour les Im, mais dans le sens de l'évolution des notes d'analyse sensorielle). Ceci peut s'expliquer par le fait que les observations ne sont pas faites au même temps post-mortem : à la même date d'observation, les côtes ayant 6 jours de maturation ont 48h de plus que celles n'en ont que 4, et ont une moelle osseuse qui noircit davantage.

Les effets sur les autres critères sensoriels observés sont variables : l'augmentation de la durée de maturation avant découpe de 48 h est légèrement préjudiciable pour la couleur de la viande (diminution des notes moyennes de 3,16 à 2,88), l'odeur est influencée positivement par le raidissage doux (note moyenne plus élevée de 0,29 points) et par une maturation courte (note moyenne plus élevée de 0,23 points), l'allongement du délai de fente à 3 jours améliore le critère de l'exsudat (augmentation des notes moyennes de 3,96 à 4,39).

En conséquence, ces différences ainsi que celles observées sur l'acceptabilité de la couleur des os, modulent l'impression générale des produits et donc le jugement global de l'observateur sur ces échantillons (fig. 3) : le raidissage intense ressort comme ayant un effet global positif et la maturation courte semble légèrement améliorer la perception des produits.



Conclusions

En conclusion, les pratiques de la filière devraient s'orienter vers des raidissages rapides et intenses, et des durées de maturation relativement courtes avant conditionnement, afin de diminuer les occurrences de noircissement des os lors de la conservation des côtes de veau sous atmosphère suroxygénée. Les deux délais de fente des carcasses testés ici peuvent être communément appliqués lors de la fabrication des UVCi de côtes de veau, sans conséquence globale sur la couleur des os du produit.

Ce travail a été réalisé grâce à un financement de FranceAgriMer.

Bièche C., 2012, Compte rendu Institut de l'Elevage 001232016.

Bozec A., Vautier A., Le Roux A., 2009. TechniPorc, 32, 3-8.

Jeremiah L. E., 2001. Food Res. Int., 34, 749-772.

Lee K. T., 2010. Meat Sci., 86, 138-150.

Mancini R. A., Hunt M. C., Hachmeister K. A., Kropf D. H., Johnson D. E., 2005. Meat Sci., 69, 493-500.

Nicolalde C., Stetzer A. J., Tucker E. M., McKeith F. K., Brewer S., 2005. J. Food Sci., 70, C575-C580.

Raines C. R., Dikeman M. E., Grobbel J. P., Yancey E. J., 2006. Meat Sci., 74, 267-271.

LIEN ENTRE MODIFICATIONS PHYSICOCHIMIQUES DES PROTEINES ET PERTE DE POIDS A LA CUISSON – CAS DE JAMBONS CUITS AVEC DIFFERENTS TAUX DE NaCl

BOMBRUN L.^{1,2}, DANON J.¹, KONDJOYAN A.¹, GATELLIER P.¹

¹INRA UR370 QuaPA, Equipe Imagerie & Transferts, F-63122 St-Genès-Champagnelle, France.

²IFIP, Institut français du porc, F-94700 Maisons-Alfort, France.

Abstract: Relationship between protein physicochemical changes and cooking loss in ham cooked with different levels of NaCl.

In a context of salt content reduction in cooked ham, the effect of salt content on cooking loss and protein physicochemical changes (oxidation and denaturation) was investigated. Experimentations were performed on pork *semimembranosus* muscle salted at 0.9, 1.2 and 1.5 % and cooked at 50 or 70°C during 20, 60 and 120 min. Protein oxidation was evaluated by the measurement of free thiols and carbonyl groups. Thermal denaturation was assessed by the measurement of myofibrillar proteins surface hydrophobicity. A reduction of salt content significantly ($p < 0.001$) increased cooking loss and hydrophobicity but had limited effect on protein oxidation. Cooking loss was significantly correlated ($p < 0.001$) with carbonyls formation and protein thermal denaturation, indicating a potential involvement of protein physicochemical changes in water binding capacity.

Introduction

Dans les pays occidentaux, la viande est quasiment toujours salée et/ou cuite avant consommation. Ces traitements permettent l'inactivation des microorganismes pathogènes et le développement des qualités sensorielles et technologiques. Néanmoins, ils entraînent des modifications au niveau des protéines, ce qui peut notamment diminuer la qualité nutritionnelle des produits carnés. L'impact de la cuisson sur les protéines est connu : augmentation de l'oxydation par production de radicaux libres (Gatellier *et al.*, 2009) et augmentation de l'hydrophobie de surface (Chelh *et al.*, 2006). Par contre, le rôle du sel a été peu étudié : par exemple, Sharedeh *et al.* (2011) n'ont pas mis en évidence d'impact du sel sur l'oxydation des protéines lors d'une marinade. A notre connaissance, les effets cumulés de la cuisson et du salage sur les changements physicochimiques des protéines n'ont jamais été étudiés. Une meilleure connaissance de ces effets a constitué le premier objectif de cette étude. Le second a été d'établir un lien entre la perte de poids à la cuisson et les modifications des protéines afin d'améliorer la connaissance des mécanismes impliqués dans cette perte de poids. Cette étude entre dans le cadre du programme « Namoins » qui, devant les dangers que représente la surconsommation de sel pour la santé humaine, vise à réduire le taux de NaCl dans les produits carnés.

Matériels et méthodes

Le protocole utilisé pour la préparation des échantillons reproduit les différentes étapes de la fabrication du jambon cuit mais a été adapté à des échantillons de petite taille. Des cubes de 30 x 30 x 30 mm ont été découpés dans des muscles semi-membraneux de porcs (*semimembranosus*). Les échantillons ont été mis en sac sous vide avec 10 % (en poids) de saumure et ont été malaxés à 8 rpm pour un total de 2064 rotations à 2°C (Inject Star, Austria). Les saumures étaient composées de 110, 165 ou 220 g de sel, 1,1 g de nitrite de sodium, 3,3 g d'ascorbate de sodium et 27,5 g de saccharose par litre. Les cubes ont ensuite été cuits sous vide au bain-marie, à 50 ou 70°C pendant 20, 60 ou 120 min. et refroidis 10 min. dans un bain d'eau glacée. La perte de poids a été calculée en pesant les échantillons avant cuisson et après cuisson et refroidissement. Les cuissons ont été réalisées en triplicat. Le taux de NaCl a été déduit de la mesure des ions chlorures par chromatographie ionique (Metrohm 850 professional IC). Les analyses biochimiques ont été réalisées à chaque étape de transformation. L'oxydation des protéines a été évaluée par la mesure des groupements carbonyles et du taux de thiols libres (Morzel *et al.*, 2006) et les dénaturations des protéines par la mesure de l'hydrophobie de surface (Chelh *et al.*, 2006). Face à l'hétérogénéité des valeurs biochimiques obtenues dans la viande crue, due à la variabilité biologique, les résultats biochimiques obtenus à la cuisson sont présentés en valeurs relatives, c'est-à-dire en pourcentage de la valeur correspondante dans la viande salée crue. Pour chaque condition, six répétitions sont réalisées pour les mesures biochimiques.

Résultats et discussion

Après le malaxage, les taux de sel dans la viande étaient respectivement de $0,88 \pm 0,04$, $1,25 \pm 0,08$ and $1,52 \pm 0,08$ % avec 110, 165 and 220 g/l de sel dans la saumure. La perte de poids à la cuisson augmente significativement ($p < 0,001$) avec la température de cuisson et avec la diminution du taux de sel (figure 1), ce qui est en accord avec la capacité de rétention en eau du sel décrite dans la littérature (Hamm et Deatherage, 1960). Ni l'oxydation des protéines, ni leur hydrophobie ne sont affectées par l'étape de salage malaxage ($p > 0,050$). Le taux de thiols libres lors de la cuisson est peu dépendant du taux de sel ($p = 0,05$). De plus, il ne dépend pas de la température ($p > 0,050$) mais varie de façon biphasique avec la durée de cuisson ($p < 0,001$, figure 2) : après une cuisson de 20 min., le taux de thiols libres a

augmenté de 10 % par rapport à la viande salée crue, ce qui correspond à une extériorisation des groupements thiols. Pour une cuisson plus longue, la diminution reflète l'oxydation qui a pris le dessus sur la dénaturation. La formation de groupements carbonyles est seulement dépendante de la température ($p < 0,001$, figure 3). Néanmoins, même à 70°C, le taux de carbonyles observé (de l'ordre de 3nM/mg de protéines) n'est que de très peu supérieur à celui généralement observé dans la viande crue (de 0,5 à 2 nM/mg). Cette faible oxydation peut être due à la présence d'antioxydants comme le nitrite et l'ascorbate utilisés pour la préparation des jambons. Durant la cuisson, l'hydrophobie de surface des protéines, évaluée sur les protéines myofibrillaires, augmente rapidement ($p < 0,001$) pour atteindre son maximum au bout de 20 min. (figure 4). Elle augmente fortement avec la température de cuisson ($p < 0,001$). L'augmentation du taux de sel diminue significativement l'hydrophobie de surface ($p < 0,001$). Ceci peut être attribué à l'oxydation par le sel des acides aminés aromatiques, qui entraîne la formation de produits hydroxylés (hydroxytryptophane, di- et tri-hydroxyphénylalanine) moins hydrophobes que les acides aminés correspondants.

La perte de poids est significativement corrélée au taux de carbonyles ($r = 0,62$, $p < 0,001$) et à l'hydrophobie ($r = 0,76$, $p < 0,001$). La corrélation entre la perte de poids et la carbonylation des protéines peut être expliquée par la perte des charges positives quand les groupements NH_3^+ de la lysine sont transformés en groupements non chargés CHO, ce qui diminue les interactions eau/protéines. L'hydrophobie semble être un meilleur paramètre pour expliquer la perte de poids : son augmentation favorise l'agrégation des protéines (Promeyrat *et al.*, 2010), ce qui réduit de fait le nombre de sites de fixation potentiels de l'eau sur les protéines.

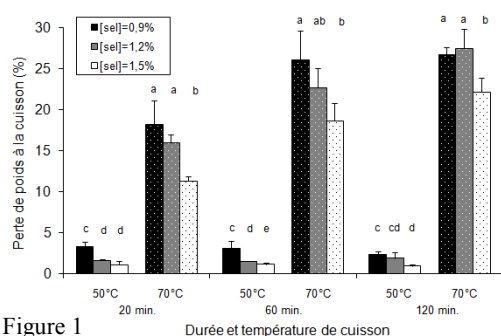


Figure 1

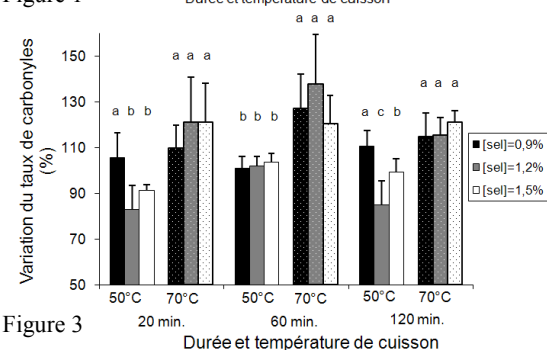


Figure 3

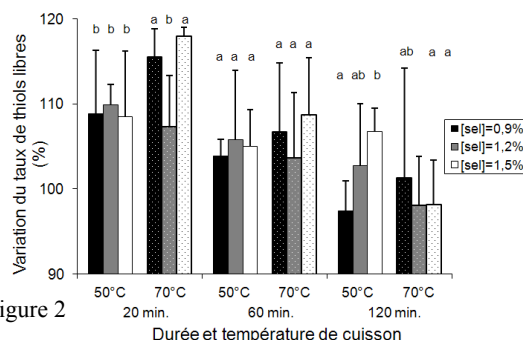


Figure 2

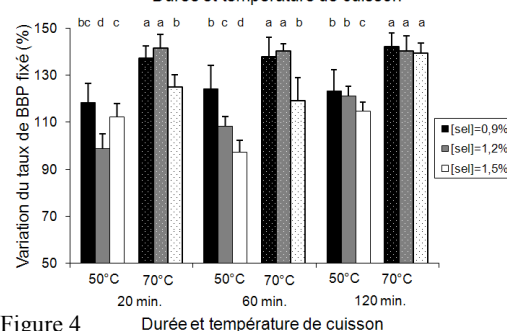


Figure 4

Figure 1 : Influence du taux de sel et des paramètres de cuisson sur la perte de poids du jambon cuit.

Figure 2, 3 et 4 : Variation relative du taux de thiols libres, de carbonyles et de l'hydrophobie de surface dans le jambon cuit avec différents taux de sel. Les valeurs dans la viande crue salée étaient respectivement de $41,5 \pm 3,2$ nM/mg de protéines, $1,86 \pm 0,23$ nM de 2,4 dinitrophénylhydrazine (DNPH) fixé par mg de protéines et $45,9 \pm 5,9$ % de bleu de bromophénol (BBP) fixé. Les lettres différentes sur les histogrammes indiquent des différences significatives ($p < 0,050$) pour chaque durée de cuisson.

Conclusion

Lors de la cuisson du jambon cuit en présence d'antioxydants (ascorbate et nitrite), l'oxydation des protéines (thiols et carbonyles) est limitée. L'hydrophobie, quant à elle, diminue avec l'augmentation du taux de sel. L'oxydation des protéines (carbonyles) et surtout leur hydrophobie de surface semblent être des bons indicateurs de la perte de poids. L'effet du sel sur les changements physicochimiques des protéines peut expliquer la perte de poids dans le jambon : en limitant l'hydrophobie des protéines, le sel améliore leur capacité à lier l'eau.

Ce travail a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet ANR-09-ALIA-013-01 "Na-". Les auteurs remercient A. Latour pour la préparation des échantillons et l'ADIV pour l'utilisation de leur baratte.

Chelh I., Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2006. Meat Sci., 74, 681-683.
 Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., Portanguen S., Kondjoyan A., 2009 Meat Sci., 83,651-656.
 Hamm R., Deatherage F.E., 1960. Food Res. Int., 25, 587-610.
 Morzel M., Gatellier P., Sayd T., Renner M., Laville E., 2006. Meat Sci., 73, 536-543
 Promeyrat A., Gatellier P., Lebreton B., Kajak-Siemaszkowski K., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., 2010. Food Chem., 121, 412-417.
 Sharedeh D., Gatellier P., Peyrin F., Astruc T., Daudin J.D., 2011. 57th ICoMST, Ghent, Belgium.

L'EFFET ATTENDRISSANT DE LA CUISSON BASSE TEMPERATURE MESURÉ SUR DES RÔTIS DE BŒUF

TRIBOT LASPIERE P.¹, TURIN F.¹

¹Institut de l'Elevage, route d'Epinay, 14310 Villers-Bocage

Abstract: Tenderizing effect of low temperature cooking on roasts beef

Low temperature cooking (LTC) is a good way to prepare roasts beef in catering. This way of cooking allows to control the meat cooking level and to tenderize meat. This study results confirm the tenderizing effect of LTC (56°C applied for 16 hours) measured with sensory analysis by comparison with Classic Cooking method (CC: 180°C for 30 min followed by 20 min of rest). LTC is effective on tenderizing, but it depends on muscles: *semi membranosus*, *vastus lateralis*, *semi tendinosus* and *biceps femoris* are tenderer when they are cooked with LTC conditions. But LTC does not work on *triceps brachii*, LTC is equal to CC for this muscle. Contrariwise, juiciness meat is degraded by LTC whether studied muscles.

Introduction

Avec 23% de part de marché, la viande bovine en Restauration Collective (RC) intéresse tout particulièrement les fournisseurs de viande, et ce pour 2 raisons : c'est un marché en régulière augmentation et, dans le secteur scolaire, c'est un marché à vocation pédagogique qui concourt à former les consommateurs de demain. La RC scolaire se doit de présenter des plats de viande de bœuf qui satisfassent les convives sans se focaliser sur le seul steak haché. Le rôti constitue une alternative intéressante. Il présente l'avantage d'être compatible avec les contraintes de la RC, notamment celle du « coup de feu », mais reste peu proposé à cause de son prix trop élevé et d'une appréhension des cuisiniers de le rater (niveaux de cuisson et tendreté) et de le retrouver dans la « pouvelle » en fin de service (Tribot Laspière P., 2006). Les avantages de la cuisson à basse température (CBT) des rôtis sont nombreux (Tribot Laspière, 2010) : elle est applicable telle quelle en RC, permet une bonne maîtrise du niveau de cuisson, assure une présentation de qualité sur la chaîne de self et est réputée attendrir la viande (Christensen et al. 2012). Son utilisation permettrait, soit d'améliorer la qualité de la viande proposée en RC, soit à qualité constante, d'utiliser des muscles de moindre qualité bouchère et donc moins chers en réduisant le coût d'un repas. L'objet de cette étude est de mesurer l'effet attendrissant de la cuisson basse température de rôtis de bœuf issus de différents muscles comparativement à de la cuisson classique. Ce travail s'inscrit dans une étude plus large sur la Cuisson Basse Température de rôtis de bœuf, conduite conjointement avec l'ADIV.

Matériel et méthode

Matières premières. Le travail porte sur 5 muscles : dessous de macreuse (M : *triceps brachii*), tende de tranche (TT : *semi membranosus*), plat de tranche (PT : *vastus lateralis*), rond de gîte (RG : *semi tendinosus*) et gîte noix (GN : *biceps femoris*). Le dessous de macreuse a été choisi car c'est un muscle classiquement utilisé en RC compte tenu de sa tendreté intermédiaire. Les 4 autres muscles sont réputés plutôt durs. Ces muscles sont prélevés sur 12 vaches laitières (Pie Noir, Normande, Montbéliard) affranchis, mis sous vide, maturés 7 jours à +2°C puis congelés à -22°C. Avant cuisson, les muscles sont décongelés à +4°C et préparés afin d'avoir des rôtis de taille standard de 20 x 10 x 6 cm et de poids standard de 900 g ± 50 g.

Cuissons. Une fois décongelés les rôtis sont disposés sur une grille et cuits au four selon 2 régimes : Cuisson Classique (CC) ou Cuisson Basse Température (CBT). La CC se fait à 180°C pendant 30 min, suivie d'un repos de 20 min dans du papier aluminium à température ambiante. La CBT est conduite à 56°C, 40 % d'humidité, pendant 16 h. Les rôtis sont marqués préalablement sur un grill à plaque, 35 secondes/face et 15 secondes/face respectivement, pour la CBT et la CC.

Analyse sensorielle. À chaque séance, 12 dégustateurs testent un type de muscle, sur six animaux et pour les deux types de cuissons. Les cœurs des rôtis sont coupés en trois tranches d'1 cm d'épaisseur qui sont ensuite recoupées en quartiers, donnant ainsi 12 portions. Dans une même assiette, chaque dégustateur teste 2 rôtis provenant du même muscle (gauche et droit), du même animal, cuits selon les deux types de cuisson CC et CBT. Les paramètres évalués sont la tendreté, la jutosité, l'intensité de flaveur et la satisfaction globale en utilisant une échelle non structurée allant de 0 à 100 (0 = note minimale et 100 = note maximale).

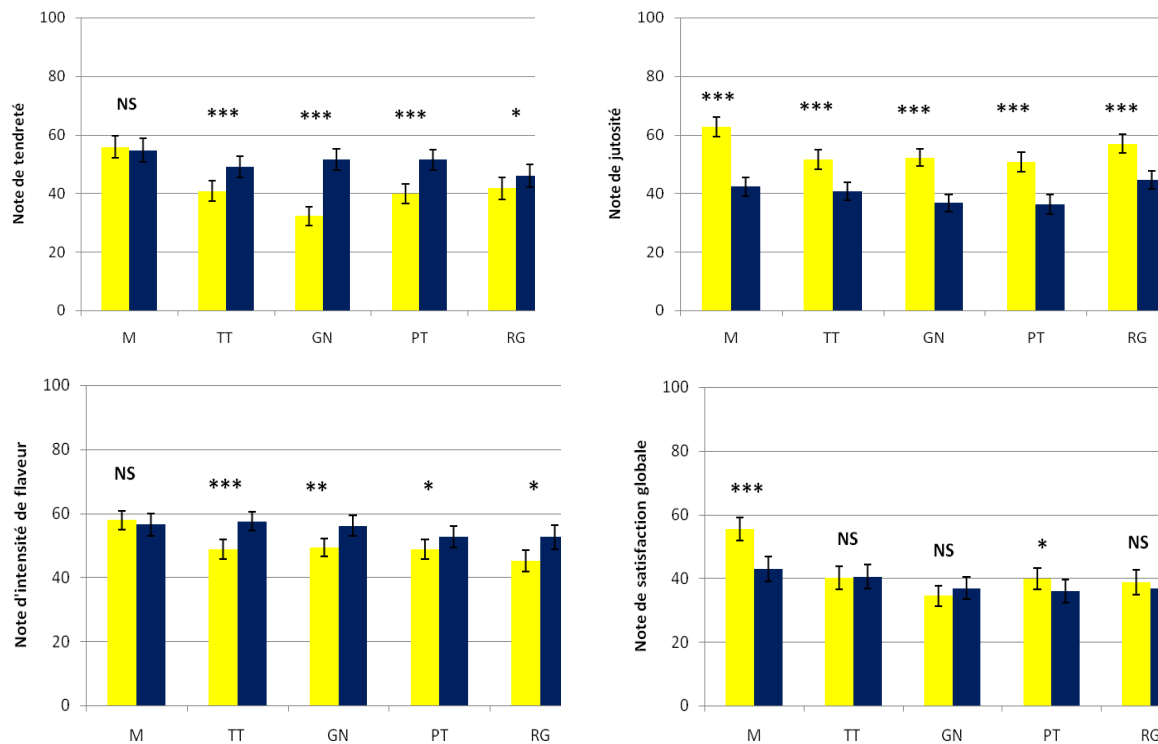
Résultats et discussion

La figure 1 montre que l'effet attendrissant de la CBT varie selon les muscles et n'est efficace que pour les muscles étudiés réputés les plus durs (TT, GN, PT, RG). L'intensité de flaveur s'accroît pour ces derniers. La CBT a un effet négatif systématique sur la jutosité. Cela va dans le sens sans doute de certains avis formulés par les dégustateurs sur la viande cuite en CBT qui qualifient la viande comme « pâteuse ». Cela peut aussi être relié à des observations faites au cours du tranchage des rôtis : les viandes cuites en CC ont tendance à libérer leur jus beaucoup plus facilement que lorsqu'elles ont été cuites en CBT. Cet effet sur la jutosité n'est pas à relier à une différence de rendement de cuisson

puisque'ils sont assez constants, de 75 à 81%, quels que soient les muscles et les types de cuisson. Plus précisément, la différence de rendement de cuisson entre la CC et la CBT n'est que de 1 à 3% selon les muscles, en faveur de la CC.

Si la note de satisfaction globale doit être exploitée avec prudence car il s'agit d'un critère hédonique jugé par des experts, elle donne néanmoins des éléments d'information intéressants. En effet, la satisfaction globale de la viande rôtie, appréciée à dire d'experts, repose habituellement sur le niveau de tendreté. Or ici, il n'en n'est rien. Tout se passe comme si d'autres critères intervenaient dans la satisfaction globale du produit et notamment la jutosité. C'est le cas des muscles M et PT, pour lesquels la jutosité semble déterminer une satisfaction globale supérieure pour la cuisson classique. C'est le cas également pour le TT, GN, et RG pour lesquels de fortes notes de tendreté et d'intensité de flaveur ne permettent pas de compenser de faibles notes de jutosité.

Figure 1 : Moyenne des notes de tendreté, de **jutosité**, d'intensité de flaveur et de satisfaction globale, obtenues à partir des dégustations des 5 muscles cuits en CC ■ et en CBT ■. Echelle de notation : note minimale (0) ; note maximale (100).



NS : non significatif ; * significatif au seuil de 5 % ; ** significatif au seuil de 1 % ; *** significatif au seuil de 0.01 %.

Conclusion et discussion

L'effet attendrissant de la CBT est acquis et démontré ici par le biais de l'analyse sensorielle sur 4 des 5 muscles testés. Par ailleurs, le présent travail montre également (interprétation à prendre avec toutes les précautions qu'il se doit, les séances d'analyses sensorielles ayant été réalisées intra muscle et non inter muscles) que la hauteur de l'attendrissage obtenu par la CBT sur des muscles durs (notes de tendreté comprises entre 46 et 51.5 selon les muscles) permet d'envisager leur utilisation en restauration collective en remplacement des boules de macreuse cuites par CC (note de tendreté de 55). Les notes de tendreté obtenues sur les muscles durs sont assez proches de celles obtenues sur la boule de macreuse, muscle qui, avec un niveau de préparation comparable (affranchi et durée de maturation) a donné de bons niveaux de satisfaction en restauration scolaire dans le cadre d'une autre étude en cuisson classique (Tribot Laspière P., 2010). Cependant pratiquée dans les conditions de l'étude, la CBT réduit très sensiblement et de façon déterminante, la jutosité des rôtis, et ce, quels que soient les muscles étudiés ici. Est-il possible de faire évoluer les conditions d'application de la cuisson basse température sur des rôtis de bœuf de façon à préserver ses effets bénéfiques montrés ici tout en réduisant ses effets négatifs ? En appliquant ces nouvelles dispositions, un muscle dur cuit ainsi aura-t-il les qualités d'un muscle tendre cuit de façon classique ? C'est tout l'enjeu d'un travail complémentaire qui reste à faire et qui consistera, pour la partie cuisson basse température, à cuire les pièces de viande, non pas nues dans le four, mais dans une enceinte fermée de façon à limiter les pertes d'eau pendant la cuisson.

Cette étude a été conduite avec le soutien financier d'Interbev et de FranceAgriMer.

Christensen, L. et al., 2012. Meat Science, 90(2), p.485–489.

Tornberg, E., 2005. Meat Science, 70(3), p.493–508.

Tribot Laspière P., 2006. CR Institut de l'Elevage N°17 06 32 020.

Tribot Laspière P., 2010. CR Institut de l'Elevage N°00 09 32 116.

IMPACT D'UN TEMPS DE REPOS ENTRE L'INJECTION ET LA CUISSON SUR LES QUALITES TECHNOLOGIQUES DE VIANDES BOVINES CUITES

PARAFITA E. ⁽¹⁾, PATISSIER E. ⁽¹⁾

(1) ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, 63 039 Clermont-Ferrand Cedex 02

Abstract: Impact of waiting time between injection and cooking steps on technological properties of roast beef meat

The *Semimembranosus* muscles from nine heifers was cut into 5 roasts and injected at 10%. A first experiment (feasibility study) was carried out by cooking vacuum packaged meat cubes in a water bath at 70°C. The second experiment (validation study) was carried out on whole roasts steamed until a core temperature of 60°C. Different waiting times between injection and cooking were used: i) no waiting time, ii) 24h at 4°C, with or without vacuum packaging iii) 48h at 4°C, with or without vacuum packaging. Warner-Bratzler shear force measurements were carried out on the inside part of cooked meat. In both experiments, the tenderness is significantly improved ($p < 0.05$) when the meat is not directly cooked after injection, especially when it is stored under vacuum packaging during 48h. With or without vacuum packaging, the cooking yields in both experiments were independent from the waiting time (24h or 48h).

Introduction

La tendreté de la viande et le rendement de cuisson sont deux critères importants à maîtriser, d'une part, pour satisfaire le consommateur et d'autre part, pour accroître la rentabilité économique du produit. Plusieurs facteurs peuvent influencer la tendreté notamment le mode d'élevage, la durée de maturation et la méthode de cuisson employée. Les procédés technologiques tels que l'attendrissage mécanique, l'injection et le malaxage sont particulièrement adaptés pour valoriser des viandes fermes et répondre ainsi aux attentes du consommateur. Dans le cadre du projet européen ProSafeBeef, l'ADIV a mené différents travaux concernant l'impact de ces procédés sur les qualités technologiques de la viande. Pour compléter ces résultats, cette étude s'intéresse à l'impact du temps d'attente entre l'injection et la cuisson sur la tendreté et le rendement de cuisson de la viande bovine. Deux durées (24h vs 48h), ainsi que deux modes de stockage (sous vide ou non), ont été testés durant ce délai.

Matériels et méthodes

Neuf muscles (*Semimembranosus*) de génisses charolaises ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Chaque muscle était maturé sous vide durant 6 à 7 jours. Le pH moyen de ces muscles était de 5,43 +/- 0.08. Chaque muscle était coupé en 5 rôtis de mêmes dimensions (7x7x10cm). Le plan d'expérience mis en œuvre a été établi de sorte à éviter que des rôtis situés au même endroit dans le muscle subissent toujours le même traitement. Une première phase de faisabilité a concerné 3 muscles issus de 3 animaux différents (soit un total de 15 rôtis). Six autres muscles de 6 animaux différents (soit un total de 30 rôtis) ont été employés dans le cadre d'une phase de validation. Tous les rôtis ont été injectés, à l'aide d'une injecteuse multi aiguilles, avec 10% (en poids) de saumure composée de 5,6% de sel, 4% de lactate de sodium, 5% de lactose, 0,5% d'ascorbate de sodium et 84,9% d'eau. Concernant l'étape de cuisson, les 15 rôtis de la phase de faisabilité, étaient coupés en cubes (juste avant cuisson), puis placés en sac sous vide et cuits dans un bain marie à 70°C +/- 0.3°C, jusqu'à une température à cœur de 60°C. Pour la phase de validation, les 30 rôtis étaient cuits entiers, selon le barème de température suivant : 1) les rôtis étaient introduits dans un four à 90°C jusqu'à une température à cœur de 55°C, 2) la température ambiante était alors baissée à 60°C, 3) la cuisson était stoppée lorsque la température à cœur des rôtis atteignait 58°C. La cinétique de température des rôtis était contrôlée par une sonde placée à cœur. Après cuisson, les cubes de viande et les rôtis entiers ont été refroidis, 24h à 0°C. Pour chacune des deux phases (faisabilité et validation), 3 itinéraires technologiques ont été comparés : cas 1) les rôtis étaient cuits directement après injection, cas 2) les rôtis étaient stockés sous vide ou non, durant 24h à 4°C, avant cuisson, et cas 3) les rôtis étaient stockés sous vide ou non, durant 48h à 4°C, avant cuisson. La tendreté des rotis a été estimée par la mesure des forces de cisaillement par Warner-Bratzler, selon la méthode de Honikel (1998). Les rendements de cuisson et les rendements technologiques (rapport des poids avant injection et après cuisson) ont été calculés sur les cubes et les rôtis utilisés dans les deux phases.

Résultats et discussion

L'impact des 3 itinéraires technologiques a été étudié par analyse de variance (ANOVA) complétée par un test PLSD de Fisher. Concernant les forces de cisaillement, les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les deux phases, dont les modes de cuisson (cuit sous forme de cubes sous vide ou cuit entier dans un four) étaient différents. Le traitement statistique a donc porté sur l'ensemble des résultats obtenus pour les deux phases. Dans un premier temps, ce traitement statistique a consisté à comparer les forces de cisaillement après cuisson des rôtis préalablement stockés sous vide et des rôtis stockés à l'air, indépendamment de la durée du temps d'attente. Les résultats montrent que les rôtis stockés sous vide entre l'étape d'injection et l'étape de cuisson présentent des forces de cisaillement significativement plus faibles ($p < 0,05$) que les rôtis stockés à l'air (-6%), suggérant une tendreté plus élevée (70,0N vs 75,4N respectivement, figure 1).

Le second traitement statistique a porté sur l'impact de la durée du délai d'attente entre l'injection et la cuisson pour les rôtis stockés sous vide uniquement. Une durée d'attente de 48h sous vide permet de réduire significativement ($p < 0,05$) la force de cisaillement des rôtis stockés sous vide comparativement à une durée de 24h (66,2N vs 73,8N respectivement, figure 2). Comparé au témoin n'ayant subi aucun délai d'attente entre l'injection et la cuisson, la tendreté est améliorée de près de 11%.

Figure 1 Impact du mode de stockage durant le délai d'attente entre l'injection et la cuisson sur la tendreté des rôtis de bœuf

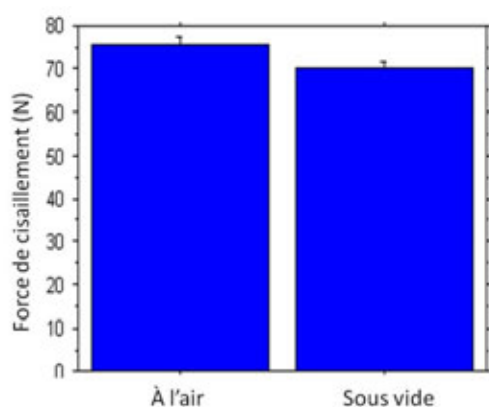
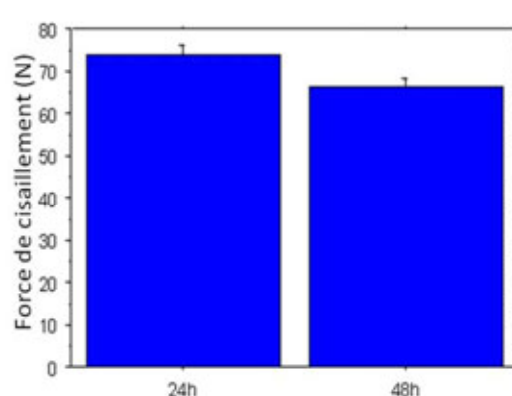


Figure 2 Impact de la durée du délai d'attente sous vide entre l'injection et la cuisson sur la tendreté des rôtis de bœuf



Concernant les rendements de cuisson et les rendements technologiques, les différents itinéraires testés n'ont eu aucune incidence significative ($p = 0,39$ et $p = 0,21$, respectivement). La cuisson peut donc être réalisée directement après injection sans impact négatif sur les rendements.

Conclusion

Ces travaux montrent qu'un délai d'attente de 48h réalisé sous vide, entre l'étape d'injection et l'étape de cuisson, permet d'améliorer de plus de 10% la tendreté du muscle semi-membraneux de bœuf. Néanmoins, le bénéfice de ce temps d'attente devra être discuté en fonction des coûts de stockage engendrés par ce procédé, d'autant plus que les rendements de cuisson et technologiques ne sont pas améliorés par cette méthode.

Cette étude a été conduite dans le cadre du projet européen ProSafeBeef (2007-2012) financé par la Commission Européenne (6th framework program of the European Union).

Thompson J., 2002. *Meat Science* 62:295-308.
Lapendrie A., Parafita E., (16-21 August 2009) 55th ICOMST.
Lapendrie A., Parafita E., 13^{èmes} JSMTV, octobre 2010.
Honikel K., (1998). *Meat Science* 26:447-457.

EFFET DU TAUX DE NaCl SUR L'ÉVOLUTION STRUCTURALE ET ULTRASTRUCTURALE DU MUSCLE *SEMIMEMBRANOSUS* DE PORC AU COURS DE LA FABRICATION DU JAMBON CUIT

LOISON O.¹, SHEN C.¹, DANON J.¹, PEYRIN F.¹, VENIEN A.¹, LABAS R.¹, CARLIER M.²
ASTRUC T.¹

¹INRA Theix, UR370 Qualité des Produits Animaux 63122 Saint-Genès-Champanelle,
²IFIP, F-94700 Maisons-Alfort

Abstract : Effect of NaCl content on structural and ultrastructural changes of pork *Semimembranosus* muscle during the production of cooked ham.

Epidemiological studies show that the overconsumption of salt increases the risks of cardiovascular diseases. The experimental protocol consists in characterizing the effect of a decrease in salt content on the structure of *Semimembranosus* pork muscle during the production of the cooked ham. The results indicate that brining and cooking generate important structural and ultrastructural modifications. The morphological changes were quantified by image analysis. Our results show significant differences in muscle structure changes with the reduction of salt content. The cell size differs between salt levels before and after cooking with differences in ultrastructural changes.

Introduction

La source principale de sodium est le sel ajouté dans la fabrication des produits carnés alimentaires. Or, la consommation de sodium (Na) dépasse les recommandations nutritionnelles, ce qui augmente les risques d'hypertension, de maladies cardiovasculaires et d'ostéoporose. Il devient alors nécessaire de réduire sa teneur dans les fabrications. Cependant, le sel joue un rôle de conservateur, d'exhausteur de goût et améliore la rétention d'eau des produits carnés. Dans le jambon cuit, le taux de sel classique est voisin de 2 %. Dans le but de comprendre l'effet d'une réduction du taux de sel sur l'évolution structurale du produit, nous avons caractérisé la morphologie tissulaire du muscle *Semimembranosus* (SM) soumis à deux niveaux de sel différents (1,3 et 1,8 %) après les étapes de saumurage et de cuisson.

Matériels et méthodes

Echantillonnage : 4 porcs homogènes en poids (94kgPC $\pm$ 3.73kg), ayant un pH ultime du SM compris entre 5,6 et 5,7 ont été abattus et le muscle entier a été prélevé puis échantillonné à chaque stade de fabrication du jambon cuit: muscle frais (J1 Témoin), muscle saumuré avec des teneurs en sel respectives de 1,8 % (**S1**) et 1,3 % (**S2**) malaxés pendant 15h à 2°C et cuits au four à 40°C pendant 60 min puis 55°C pendant 60 min et 65°C pendant 150 min (**C1** et **C2**, correspondant respectivement aux échantillons saumurés **S1** et **S2**). Les échantillons ont été fixés par congélation ultra-rapide (isopentane -160°C) en vue d'analyses histologiques et par immersion dans un fixateur chimique (glutaraldéhyde à 2,5 %) pour les analyses ultrastructurales.

Caractérisation du muscle *Semimembranosus* : a) **Microscopie optique :** Des coupes à congélation, transversales aux fibres musculaires, de 10µm d'épaisseur ont été colorées à l'Hématoxyline Eosine Safran (HES) et au Rouge Sirius (RS) (Figure 1). Les acquisitions d'images ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique Olympus BX 61 équipé d'une caméra numérique (DP71). La surface des fibres musculaires, du tissu conjonctif ainsi que l'Espace Extra Cellulaire (EEC) ont été quantifiés par analyse d'image (logiciel ImageJ). b) **Microscopie électronique :** Les échantillons ont été inclus en résine époxy, puis observés à l'aide d'un microscope à transmission Hitachi (H7650) c) **Analyse statistique :** Les variances et comparaisons des moyennes ont été analysées à l'aide de PROC GLM du logiciel SAS (Statistical Analysis System).

Résultats et discussion

Les différents traitements (saumurage, malaxage et cuisson) ont modifié la structure de la viande. Le tissu conjonctif, les espaces extracellulaires (EEC) et les fibres ont été affectés par les étapes de fabrication du jambon cuit (Figure 3). En effet, le saumurage entraîne une diminution significative de la surface du tissu conjonctif, qui est plus importante à 1,3 % de sel. L'EEC est plus faible avec le taux de sel 1,3 %. La surface des fibres diminue également. La cuisson, induit une augmentation de l'EEC sans différence significative en fonction du taux de sel. La surface des fibres qui par rapport au témoin est en diminution, s'accroît significativement au cours des transformations, mais de façon plus importante avec 1,3 % de sel. L'observation de l'ultrastructure (Figure 4) montre une architecture modifiée des myofibrilles. Dès le saumurage, les sarcomères et les lignes M ne sont plus visibles, quelques stries Z se distinguent

encore à 1,8 %. Bien que non quantifiées, les images numériques indiquent que la taille des myofibrilles et des espaces extra myofibrillaires semble augmenter à 1,3 % de sel. Après cuisson, les stries Z sont davantage visibles mais discontinues, elles sont plus claires en C2 qu'en C1. Certains sarcomères, à 1,3 %, gardent encore leurs stries Z et lignes M. D'une manière générale, il semble que l'ultrastructure soit moins dégradée à 1,3 % qu'à 1,8 % de sel.

Les changements liés au saumurage résulteraient d'une solubilisation des protéines intra et extracellulaires plus importante au taux de sel 1,3 %, expliquée par le phénomène de « salting in-salting out » (Figure 2: Knight & Parsons-1988) qui montre qu'une concentration en sel supérieure à 1M (0.585%) diminue la solubilisation des protéines. Lors de la cuisson, l'augmentation des espaces extracellulaires et de la taille des fibres (augmentation significative en C2) pourraient être liée à une entrée d'eau dans le muscle lors du procédé de transformation.

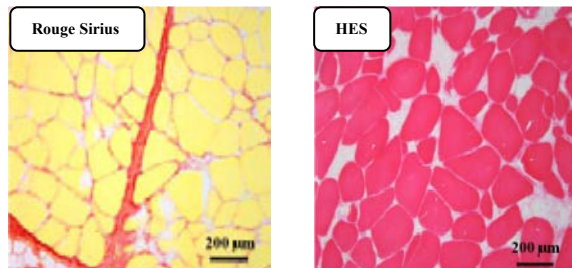


Figure 1 : Microscopie photonique : colorations RS et HES

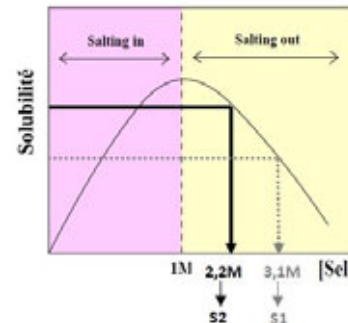


Figure 2 : Influence de la concentration en sel sur la solubilisation des protéines

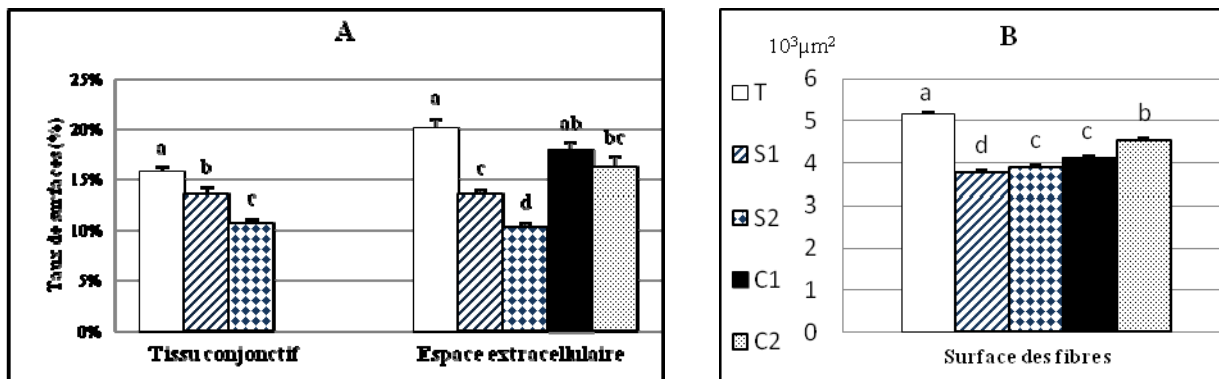
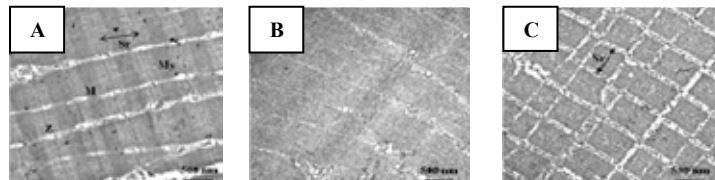


Figure 3 : Evolution de la structure en fonction des traitements technologiques : (A) Tissu conjonctif et Espace extracellulaire.

Figure 4 : Microscopie électronique : (A) Ultrastructure standard du SM cru. (B) Effet du salage à 1,3% : solubilisation des protéines. (C) Effet de la cuisson à 1,3% : Agrégation des protéines myofibrillaires



Conclusions

Nos résultats indiquent que le taux de salage à 1,3 %, génère des modifications structurales plus importantes qu'un taux de sel plus élevé de 1,8 %. Il semble que la solubilisation des protéines soit plus élevée pour le taux de sel le plus bas, ce qui pourrait être lié au phénomène de « salting in – salting out ». Cette caractéristique pourrait être favorable au collage des muscles du jambon qui est dépendant du degré de solubilisation des protéines lors du saumurage. En revanche, des études parallèles de rendement de cuisson confirment les données bibliographiques et indiquent une moindre rétention d'eau avec 1,3 % de NaCl (non significatif sur le SM; Carlier et al. 2012) alors que le volume des espaces extracellulaires est plus faible. Ce résultat suggère que les protéines de la matrice extracellulaire pourraient participer à la rétention d'eau dans le produit.

Cette étude fait partie du projet Na- subventionné par l'Agence Nationale de la Recherche

Carlier M., Martin J.L., Vautier A., Gault E., Bombrun L., Burton O., Loison O., Danon J., Santé-Lhoutellier V. and Astruc T. Histochemical and Biochemical Characteristics of Four Major Muscles of The Ham. 58th International Congress of Meat Science and Technology, August 2012, Montreal, Canada.

Knight P., Parsons N. Action of NaCl and Polyphosphates in meat processing: Responses of Myofibrils to Concentrated Salt solutions. Meat Science (1988) 24: 275-300.

VERS UNE MODELISATION MATHÉMATIQUE DES MODIFICATIONS PHYSICOCHIMIQUES DES PROTÉINES LORS DU CHAUFFAGE

PROMEYRAT A.¹, GATELLIER P.¹, BROYART B.², KONDOYAN A.¹, DAUDIN J.D.¹
(1) UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle
(2) AgroParisTech, UMR1145 Génie Industriel Alimentaire, F-91300 Massy

Abstract: towards mathematical modelling of physicochemical modifications of proteins during heating

Heating induces oxidation and conformation changes of proteins which affect meat products quality and nutritional value. To investigate this system by calculations, according to parameters like iron content or temperature, a stoichio-kinetic mathematical model was built. It consists of many differential equations solved numerically, each representing an elementary chemical reaction or physical phenomenon. The main phenomena taken into account are the iron oxidative cycle, free radicals interactions and protein oxidation and denaturation.

Introduction : la dénaturation et l'oxydation des protéines sont à la base des modifications du tissu musculaire pendant la cuisson des viandes. Elles affectent les propriétés technologiques, telles que le rendement, sensorielles, notamment la texture et la justosité, et nutritionnelles (Promeyrat *et al.*, 2010). Notre but est de construire un modèle mathématique de l'ensemble des phénomènes impliqués afin de pouvoir optimiser les barèmes de cuisson. Cette modélisation permet de dégager des règles quantitatives relatives à l'incidence de chacun des nombreux composés des viandes, ce qu'il est difficile de faire uniquement par l'expérience, et fournit des informations sur l'évolution de composés qu'il est impossible de mesurer.

Présentation du modèle mathématique

Le principe du modèle et la base des vitesses réactionnelles

Chacune des réactions élémentaires est explicitée par des équations différentielles : les vitesses instantanées de variation des teneurs en réactants et produits sont fonction des teneurs des réactants et des constantes de vitesse des réactions (Van Boeckel, 2008). Ces constantes peuvent dépendre du pH et de la température. La résolution numérique simultanée des dizaines d'équations différentielles (Matlab®, routine de résolution 'ODE15s') sur des pas de temps courts permet d'appréhender la dynamique du système et révèle les interactions entre les nombreux composés. Une base des vitesses de réactions, éventuellement fonction du pH et de la température, a été constituée à partir de travaux fondamentaux en chimie. Les valeurs manquantes sont estimées en ajustant les cinétiques calculées à des mesures : cinétiques des teneurs en thiols et carbonyles, nombre de sites hydrophobes. Ces mesures sont réalisées pour différentes teneurs en Fer et températures (45, 60, 75 et 90°C) sur des systèmes expérimentaux simplifiés à base de protéines myofibrillaires (Promeyrat *et al.*, 2011 et 2012).

Les sous-systèmes et l'incidence du pH et de la température

Le modèle est constitué (a) du cycle redox du fer (Fig. 2) qui produit les radicaux hydroxyle ($\text{HO}^\bullet$), hydroperoxyde ($\text{HO}_2^\bullet$) et superoxyde ($\text{O}_2^\bullet$) en présence de peroxyde d'hydrogène et/ou d'oxygène, (b) des interactions entre ces radicaux (Fig. 2) et (3) par les réactions entre ces derniers et les acides aminés composant les protéines myofibrillaires, en tenant compte de leurs proportions. Les réactions 11, 12 et 22 sont négligées du fait de l'absence de lumière. Le diagramme de prédominance du couple acido-basique ($\text{HO}_2^\bullet/\text{O}_2^\bullet$; $\text{pKa}=4.8$) permet de prendre en compte l'effet du pH, dû principalement à la différence de réactivité de ces deux radicaux.

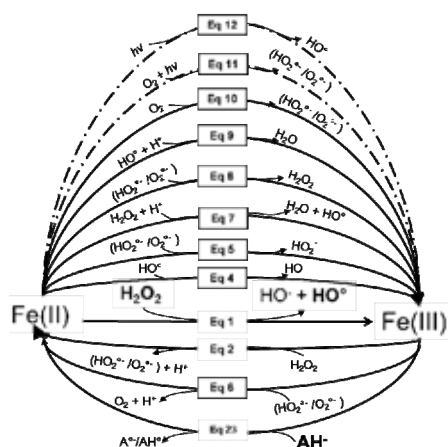


Fig 1 : cycle redox du fer en présence d'oxygène, de peroxyde d'hydrogène et d'ascorbate ($\text{AH}^\bullet$).

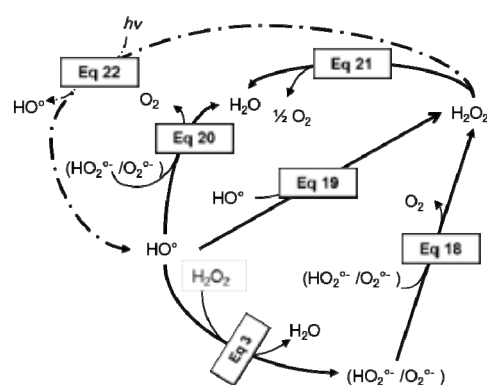


Fig 2 : interactions entre radicaux libres.

L'effet de la température est pris en compte (i), par la teneur initiale en oxygène dissous qui diminue avec la température, (ii) par des lois d'Arrhenius pour les réactions limitantes (1, 2, 10 et 21), dont les vitesses de réaction sont 10^4 à 10^{10} fois plus lentes que les réactions radicalaires et (iii) par la dénaturation thermique de l'ascorbate. De plus, la chaleur provoque une modification de la structure tertiaire des protéines myofibrillaires qui entraîne une extériorisation des sites hydrophobes dont le nombre a été mesuré au cours du chauffage par la sonde 'Bleu de BromoPhenol' (Promeyrat *et al.*, 2011). Ce phénomène physique est analogue à une réaction chimique, les réactants étant les sites hydrophobes internes et les produits étant les sites externalisés (He). Ceci peut être modélisé par :

$$He = H_{max} - (H_{max} - 190) e^{-(k.t)} \quad [1]$$

Avec k la constante de vitesse et H_{em} , le nombre maximum de sites externalisables.

Résultats :

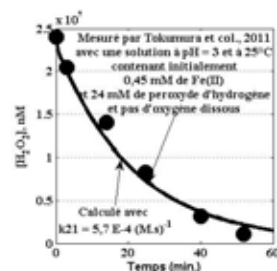


Fig 3 : estimation d'une vitesse de réaction (N°21, Fig.2)

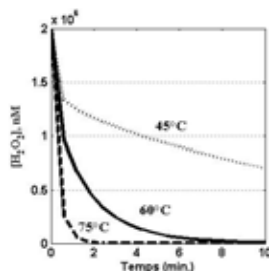


Fig 4 : incidence de la température sur la consommation d' H_2O_2 .

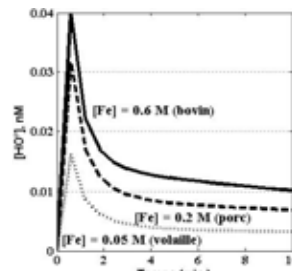


Fig 5 : incidence de la teneur en Fe sur la teneur (non mesurable) en HO° .

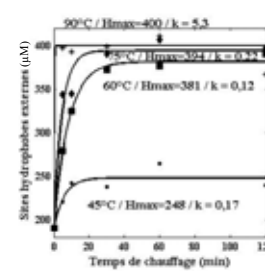


Fig 6 : estimation des paramètres de dénaturation (Eq.1) pour des fibres αW .

Quelques résultats sont présentés sur les figures 3 à 6 à titre d'exemples :

- ✓ Parmi toutes les réactions récapitulées sur les figures 1 et 2, seule la constante de la réaction 21 est inconnue. Elle a été estimée en ajustant la cinétique de consommation de peroxyde d'hydrogène par rapport à des mesures. Pour cela, une des expériences de Tokumura (2011) a été modélisée ; il s'agit d'un système élémentaire à 25°C et pH 3, comprenant initialement seulement du Fe(II) et du peroxyde d'hydrogène en quantités connues. La figure 3 montre que les calculs de simulation s'adaptent très bien aux observations.
- ✓ En tenant compte de l'effet du pH et de la température, la consommation de peroxyde d'hydrogène (Fig. 4) dans nos conditions expérimentales (Promeyrat *et al.*, 2011 et 2012) peut être évaluée ; ce composé est rapidement consommé par les réactions 1, 2, 3 et 21 et est régénéré par les réactions 18 et 19. De même, alors qu'il est impossible de mesurer la concentration en radicaux hydroxyle, sa cinétique peut être évaluée en fonction de la teneur en Fer ; sur la figure 5, les 3 courbes correspondent à des teneurs moyennes en Fer des viandes de poulet, porc et bœuf.
- ✓ Les mesures ont montré qu'il n'y a pas d'effet de la teneur en Fer sur les cinétiques de He. Les ajustements ont donc été réalisés sur des valeurs moyennes : chaque point de la figure 6 correspond à 24 mesures (6 répétitions x 4 teneurs de Fer) faites sur des protéines myofibrillaires extraites de fibres « α -White » de muscles *psaos major* de lapin. La figure 6 montre le bon ajustement des calculs à ces mesures et indique les valeurs de H_{max} et k de cette réaction équivalente : (i) H_{max} varie très fortement entre 45 et 60°C puis augmente légèrement de 60 à 90°C, (ii) la vitesse de dénaturation, qui est d'autant plus élevée que k est grand, n'est pas significativement différente de 45 à 75°C mais augmente nettement à 90°C.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Un modèle réactionnel relatif à un système simple, composé de protéines myofibrillaires en présence de peroxyde d'hydrogène, de Fer libre et d'oxygène a été élaboré. Il permet de dégager les grandes tendances relatives à la dénaturation et à l'oxydation des protéines myofibrillaires pour différents type de viande. Ce modèle de base sera progressivement complexifié en prenant en compte des différents types de fibre, des principaux antioxydants, des interactions avec les lipides...

Cette étude a reçu un soutien financier de l'Union Européenne (FP7/ 2007-2013 : FP7-222 654-DREAM).

Promeyrat, A., Gatellier, P., Lebre, B., Kajak-Siemaszko, K., Aubry, L., Sante-Lhoutellier, V., 2010. Food Chemistry, 121, 412-417.

Promeyrat, A., Le Louët, L., Kondjoyan, A., Astruc, T., Santé-Lhoutellier, V., Gatellier, P., Daudin, J.D., 2011. Procedia Food Science 1, 1118-1125.

Promeyrat A., Daudin J.D., Danon J., Gobert M., Gatellier P., 2012, 58th ICoMST, 12-17th August 2012, Montreal, Canada.

Tokumura, M., Morito, R., Hatayama, R., Kawase, Y., 2011. Applied catalysis. B, Environmental 106:565-576.

Van Boeckel, M.A.J.S., 2008. Kinetic Modelling of Reactions in Foods, Food Science and Technology, CRC Press.

IMPACT DU MODE DE SALAGE DE JAMBONS SECS SUR L'EVOLUTION DU TAUX DE SEL ET DE L' a_w DES MASSES MUSCULAIRES AU FIL DU PROCEDE

PICGIRARD L. ⁽¹⁾, MONZIOLS M. ⁽²⁾

(1) ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, 63 039 Clermont-Ferrand Cedex 02

(2) IFIP, La motte au Vicomte, BP 35104, 35 651LE RHEU Cedex

Abstract: Influence of dry-cured hams salting technology on salt content, humidity and water activity of ham muscles during process

A better understanding of salt fluxes and water-activity (a_w) evolution into ham muscles during process is essential to control proteolysis, especially when dry-cured ham producers expect to reduce salt content. The present study shows the main role of salting step on salt accumulation in *semi-membranosus* (SM). It determines salt migration into deep muscles. The beginning of the resting period during which a quick water loss occurs, has an important influence on salt migration kinetic into deep muscles. Then, a_w decrease into deep muscles, as shrank, during the process, depends significantly on the salting technology.

Introduction

Malgré une production française de de 56 000 T (FICT 2007), le jambon sec reste actuellement fabriqué selon des procédés établis au long des années sur un mode empirique. Pour un industriel, toute modification d'un des paramètres de fabrication est risquée, compte tenu de la longueur des procédés (7 mois minimum pour des produits de qualité supérieure) et du coût de la matière engagée. Acquérir des connaissances sur l'impact des procédés sur la cinétique de migration du sel et d'évolution de l'activité de l'eau (a_w) dans les différentes masses musculaires du jambon sont donc capitales pour éviter d'induire de défauts, notamment des phénomènes de protéolyse au niveau des zones profondes telles que le jarret ou la sous-noix. La protéolyse est un mécanisme enzymatique activé par la température, mais ralenti par la baisse de l' a_w . Il se traduit par une texture molle voire pâteuse du produit. Sur des technologies espagnoles, pour lesquelles les durées de fabrication sont beaucoup plus longues que les technologies françaises, une des parades à l'apparition de ce défaut consiste à exposer les jambons pendant 10 jours à +30°C en fin de fabrication (Gou *et al.*, 2008) ou de prolonger la sèche des produits (Ruiz-Ramirez J. *et al.*, 2006), ce qui n'est économiquement pas une solution acceptable, dans un contexte économique très concurrentiel. Une autre alternative pour limiter les phénomènes de protéolyse est donc de comprendre l'impact des procédés sur l'évolution des taux de sel, de l'humidité et de l' a_w des différentes masses musculaires de jambons secs en cours du fabrication. Tel est l'objectif des travaux présentés.

Matériels et méthodes

Deux entreprises productrices de jambons secs de Bayonne (entreprises A et B) ont été sélectionnées sur la base de leur procédé de fabrication, représentatif des pratiques industrielles françaises. Les caractéristiques principales de leur procédé de fabrication sont données dans le tableau 1. Pour les expérimentations, 20 carcasses de porcs ont été sélectionnées avec un TMP, un poids carcasse froid et un pH ultime à cœur du semi-membraneux (grosse noix) homogènes, avec des valeurs respectives moyennes de 59,86 +/-1,67, 91,48 kg +/- 4,17 et 5,75 +/- 0,12. Les 40 jambons issus de ces 20 carcasses ont été élaborés en coupe Parme dans le même atelier de découpe (poids moyen: 10,25 kg +/- 0,37 kg). Les 20 jambons gauches ont été expédiés dans l'entreprise A, les 20 jambons droits dans l'entreprise B. Le salage des jambons a été réalisé le même jour et les jambons ont subi un procédé d'élaboration de 9 mois, conformément aux étapes du tableau 1. Pour l'entreprise B, 3 jambons ont été prélevés en fin de salage, 3 en fin de pré-repos, 4 en fin de repos, 4 en fin d'étuvage, et 3 en fin de séchage. Pour l'entreprise A, le même protocole a été appliqué hormis l'échéance fin de repos qui a été remplacée par une échéance à mi-séchage. En effet, initialement, aucun prélèvement ne devait être effectué en milieu de séchage mais l'entreprise A a oublié d'isoler les jambons en fin de repos, avant leur passage en étuve et ils n'ont pu être analysés.. A chaque échéance, chaque jambon prélevé a été immédiatement désossé et dégraissé, puis séparé en 4 ensembles musculaires : grosse noix (GN), petite noix, sous noix (SN) et nerveux/jarret. Pour chacun de ces ensembles musculaires, ont été mesurés le taux de sel (norme NF 04-405), la matière sèche (norme NF 04-401), le taux de lipides libres (norme NFV 04-403) et l' a_w , à l'aide d'un a_w -mètre de marque Aqualab®.

	Entreprise A	Entreprise B
Durée de salage	1 apport limité de 18 jours	Enfouissement 11 jours
Durée de pré-repos	2 semaines	1,5 semaines
Durée de repos	5 semaines	7 semaines
Durée d'étuvage	1 semaine	1 semaine
Durée de séchage/affinage	31,5 semaines	31 semaines

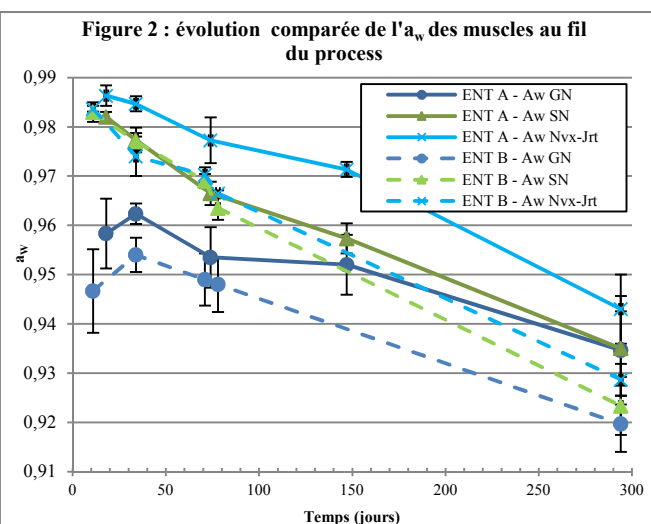
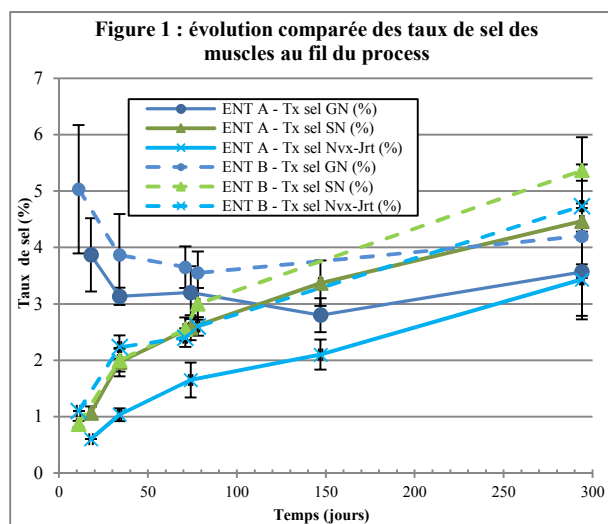
Tableau 1 : procédés de fabrication simplifiés des deux entreprises fabricantes de jambons secs

Résultats et discussion

La cinétique de pertes de poids de l'entreprise B est plus rapide que celle de l'entreprise A. La différence de perte de poids est significative pour les échéances fin de pré-repos et fin d'affinage (tableau 2). L'analyse de l'évolution du taux de sel des différentes masses musculaires des jambons au fil des deux procédés étudiés (figure 1), montre une forte accumulation du sel dans la GN en fin de salage. Cette accumulation est supérieure pour l'entreprise B, dont le salage est conduit par enfouissement. La phase de pré-repos se traduit par une forte déshydratation du produit de 7% à 9% (tableau 2) et induit une brusque augmentation de la pression osmotique de la GN et donc une forte chute de sa teneur en sel (figure 1). Le sel migre alors de la surface vers les zones profondes (SN et nerveux/jarret). Cette augmentation du taux de sel plus rapide des zones profondes pour l'entreprise B est la conséquence d'un taux de sel accumulé dans la GN supérieur et d'une cinétique de déshydratation plus rapide au pré-repos. A l'issue de pré-repos, le taux de sel des masses musculaires profondes augmente de manière régulière, conséquence d'une concentration du sel par la déshydratation dans ces zones et de la migration du sel en provenance des muscles de surface. D'ailleurs, le taux de sel de GN n'évolue plus ou peu à l'issue du pré-repos pour les 2 procédés étudiés. La GN se comporte donc comme un réservoir en sel pour les masses profondes.

	Entreprise A	Entreprise B
Fin salage	3,62 +/- 0,6	3,87 +/- 0,3
Fin pré repos	10,77 +/- 0,76	12,85 +/- 0,79
Fin repos	/	18,65 +/- 1,05
Fin étuvage	18,34 +/- 1,05	19,86 +/- 0,56
Fin affinage	31,38 +/- 0,73	32,95 +/- 0,53

Tableau 2 : valeurs des pertes de poids enregistrées au cours des deux procédés de fabrication



L'analyse des valeurs d' a_w dans les masses musculaires (figure 2) montre que l' a_w de la GN reste stable, de la fin du salage à la fin du repos (70^{ème} jour environ), pour diminuer ensuite jusqu'à la fin du procédé. Pour les muscles profonds (sous noix et nerveux/jarret), l' a_w diminue de manière régulière, de la fin du salage à la fin du procédé. Si l'évolution de l' a_w de la SN des entreprises A et B est identique, celle du nerveux/jarret des deux sociétés est très différente avec, pour conséquence de la teneur en sel plus faible du nerveux-jarret de l'entreprise A, une chute très lente de l' a_w de cet ensemble musculaire.

Conclusion

Les résultats des essais réalisés montrent que le procédé de salage a une incidence déterminante sur l'accumulation du sel dans les masses musculaires de surface (GN). Le sel accumulé sert de réservoir pour le salage des zones profondes. Quant au pré-repos, phase qui ne dure que deux semaines, mais qui permet une forte perte en eau, il joue un rôle capital dans la migration du sel des muscles de surface vers les muscles profonds, nerveux et jarret, en particulier.

Cette étude a été conduite grâce au soutien financier de FranceAgrimer et avec l'appui technique de la station expérimentale Pyragena.

FICT, 2007. Statistiques de production françaises des charcuteries salaisons.

Gou P., Morales R., Serra X., Guardia M.D. et Arnau J., 2008. Meat Science, 80, 1333-1339.

Picgirard L. – Daudin J.D., 2005. Elaboration d'un procédé de contrôle pour maîtriser la régularité du salage des jambons secs. Étude Ministère de la Recherche et de la Technologie. Rapport final. 122p.

Ruiz-Ramirez J., Arnau J., Serra X., et Gou P., 2006. Meat Science, 72, 185-194.



Session

Bases Biologiques de la Qualité et Génétique/Génomique



GENOMIQUE ET VIANDE : QUELLES AVANCEES, QUELLES APPLICATIONS ?

PICARD B.¹, BERRI C.², LEBRET B.^{3,4}, LEFEVRE F.⁵, LIAUBET L.⁶, DAMON M.^{3,4},
LE BIHAN-DUVAL E.², CASSAR-MALEK I.¹, HOCQUETTE J.F.¹, RENAND G.⁷

¹INRA, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

²INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly

³INRA, UMR1348 Pegase, F-35590 Saint-Gilles

⁴Agrocampus Ouest, UMR1348 Pegase, F-35000 Rennes

⁵INRA, UR1037 Physiologie et Génomique des Poissons, F-35042 Rennes

⁶INRA, UMR444 Laboratoire de Génétique Cellulaire, F-31326 Castanet Tolosan

⁷INRA, UMR1313 Génétique Animale et Biologie Intégrative, 78352 Jouy en Josas

Abstract : Meat and genomics : which progress and applications ?

The development of genomics tools is a considerable technological progress that allows the simultaneous analysis of thousands of genes (SNP chips), transcripts (transcriptomics) and proteins (proteomics). Using these technologies allows the measurement of complex phenotypes such as traits related to product quality. The objective of this review is to present the various studies conducted the last years in various meat industry to identify biomarkers of meat quality. The text is based on the strategy developed by each sector in terms of meat quality.

Introduction

La génomique est l'étude de la structure, la fonction et l'évolution des génomes. Grâce au séquençage des génomes, il est maintenant possible d'identifier et de localiser des dizaines de milliers de gènes d'un génome (génomique structurale). Les informations ainsi disponibles peuvent être utilisées à des fins de connaissances, sélection ou diagnostic (La Révolution Génomique, 2011). La première espèce d'intérêt agronomique dont le génome a été séquençé est le poulet puis ont suivi les espèces bovine, porcine, équine, ovine... et quelques espèces de poissons. Le développement des outils de séquençage a par ailleurs contribué à l'essor de la génomique fonctionnelle ou expressionnelle, qui s'intéresse au fonctionnement des génomes, grâce notamment à la possibilité d'analyser simultanément des milliers de polymorphismes génétiques (puce SNP), de transcrits (transcriptomique) ou de protéines (protéomique) sur des puces dédiées. L'objectif est d'identifier des gènes et/ou protéines dont l'expression ou l'abondance est associée à la mesure d'un phénotype d'intérêt tel qu'un caractère de qualité de viande. On parle alors de gènes marqueurs ou de biomarqueurs d'un phénotype qui peuvent être utilisés pour prédire ce phénotype ou à des fins de recherches pour mieux comprendre l'élaboration du phénotype en lien avec les facteurs d'élevage. Au cours des dernières années, ces technologies ont été mises en œuvre pour la plupart des filières de production de viandes. L'objet de cette synthèse est de faire le bilan pour chaque filière des connaissances acquises grâce aux études de génomique, de présenter certaines applications issues de ces travaux ainsi que les perspectives à entrevoir au regard de l'évolution actuelle des technologies à haut débit.

I - Génomique structurale

La variabilité génétique trouve son origine dans le polymorphisme de très nombreux gènes impliqués plus ou moins directement dans les fonctions biologiques participant à l'expression des caractères. Si la majorité des mutations à l'origine de ces polymorphismes ont des effets non quantifiables car trop faibles, certaines peuvent toutefois être détectées si leur effet biologique sur le caractère est suffisamment marqué et si leur fréquence est suffisante dans la population étudiée. C'est ainsi que quelques gènes hébergeant une mutation dont l'effet sur le caractère est extrême, dénommés « gènes majeurs », ont été mis en évidence dans quasiment toutes les espèces domestiques destinées à la production de viande. C'est par exemple le cas des mutations dans le gène GDF8 des bovins affectant la synthèse de la myostatine qui, à l'état homozygote, ont pour conséquence le phénotype hypermusclé « culard ». Sans aller à des effets aussi extrêmes que rares, l'étude du déterminisme génétique des caractères montre qu'il existe une gamme de polymorphismes dont l'effet est suffisamment marqué pour qu'ils soient détectés, et exploités en sélection.

La génomique structurale a pour objectif de détecter les régions génomiques présentant des mutations causales, en analysant la variabilité du caractère étudié conjointement au polymorphisme de marqueurs moléculaires répartis tout au long du génome. Les premiers programmes de détection de ces régions dénommées QTL (Quantitative Trait Locus) ont été mis en œuvre par analyse de liaison intra-famille avec des marqueurs microsatellites. Ces populations ressources sont généralement issues de croisements entre races très différentes afin d'augmenter la probabilité de ségrégation des allèles (copie mutée ou non) au QTL. Une vingtaine d'expérimentations ont ainsi été mises en œuvre en production porcine et de nombreux QTL des qualités de la viande ont été détectés (Hu et al., 2007). Dans le cas des bovins, il n'existe au niveau mondial que cinq populations ressources phénotypées pour la qualité de la viande, qui ont toutefois permis de détecter 14 QTL de la tendreté répartis sur 10 chromosomes (Hu et al., 2007). Chez le poulet, deux populations ressources issues de croisements expérimentaux entre animaux contrastés pour la croissance et la

composition corporelle on permis d'identifier les premiers QTL de qualité de viande dans cette espèce en France (Nadaf et al., 2007). Ainsi des QTL forts contrôlant la cinétique de chute de pH *post-mortem* (p.m.), déterminante pour les qualités technologiques et sensorielles, ont été identifiés sur les chromosomes 1 (pH 15 min.) et 4 (pH ultime). La localisation de tous ces QTL reste toutefois généralement très imprécise (plusieurs dizaines de cM) car l'analyse de liaison intra-famille exploite la ségrégation sur une seule génération, soit des déséquilibres de liaison sur de grandes distances.

La disponibilité récente de puces à SNP (Single Nucleotide Polymorphism) à haute densité (BovineSNP50 et PorcineSNP60 d'Illumina avec 15 à 20 SNP par cM par exemple) permet d'entreprendre des analyses d'association directement dans les populations de production en exploitant le déséquilibre de liaison au niveau racial. Avec des parents nombreux et peu apparentés, on multiplie les possibilités de recombinaison dans les générations passées et les segments chromosomiques conservés sont de taille réduite. De ce fait, en travaillant au niveau populationnel et en utilisant une forte densité en SNP, on peut espérer que des mutations causales se retrouvent suffisamment proches de certains marqueurs. Les analyses d'association des SNP permettent ainsi de détecter et de cartographier finement (environ 1 cM) un nombre élevé de QTL, comme cela a déjà été démontré en production bovine laitière. Pour la production de viande, arrivent les premiers résultats de détection de QTL à l'aide de puces à SNP. Trois études ont ainsi été publiées sur la cartographie fine de régions QTL des teneurs en androsténone et scatole sur 600 à 1200 animaux dans quatre populations commerciales de porcs en Hollande, France et Norvège (Duijvesteijn et al. 2010 ; Le Mignon et al. 2010 ; Grindflek et al. 2011). Dans la présente session, une communication présente des résultats de détection de QTL de qualité de la viande réalisée sur 495 porcs Large White (Sanchez et al. 2012). Concernant la viande bovine, une première étude Australienne a mis en évidence des SNP significativement associés à la teneur en lipides intramusculaires et la force de cisaillement chez 940 jeunes bovins de diverses origines raciales, toutefois seuls 1/8 des SNP découverts furent validés lors de tests sur une population de 1338 jeunes bovins de même origine génétique (Bolormaa et al., 2011). En France, le projet Qualvigène a permis le génotypage et le phénotypage de 3349 jeunes bovins de races Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine. De nombreux QTL de qualité de viande, en particulier de la note de tendreté et de la force de cisaillement, ont été détectés et sont rapportés dans la présente session (Allais et al., 2012). Cependant, la densité de la puce actuellement utilisée (1 SNP tous les 50 à 70 Kb) n'est pas suffisante pour analyser conjointement des animaux d'origines raciales diverses puisque seuls les déséquilibres de liaison sur des distances inférieures à 10 Kb sont conservés entre races (Gautier et al., 2007). De ce fait, les QTL et le panel de SNP utilisables pour une sélection sur marqueurs (SAM) sont spécifiques d'une population.

Pour les caractères de qualité de viande difficiles à enregistrer en routine, l'objectif est d'obtenir une prédiction de la valeur génétique à partir de marqueurs en très étroit déséquilibre de liaison avec les mutations causales pour que l'association soit peu affectée par les recombinaisons méiotiques et se maintienne suffisamment longtemps au cours des générations. Pour préciser plus finement les régions QTL et trouver les gènes candidats susceptibles d'être intégrés dans une SAM, une puce de plus forte densité est nécessaire. Une puce 777K est actuellement disponible pour l'espèce bovine (BovineHD, Illumina). Son coût est toutefois trop élevé pour l'utiliser dans des programmes de cartographie fine sur un grand nombre d'animaux. Par contre la possibilité d'imputer les génotypes aux 777.000 SNP à partir des seuls SNP génotypés sur la puce 54K (Druet et Georges, 2010) présente une avancée remarquable puisque les analyses d'association se feraient avec des marqueurs répartis tous le 4Kb. Le Projet GeMBAL actuellement conduit à l'UMR GABI de l'INRA, inclut la mise au point d'algorithmes d'imputation de la puce Bovine SNP50 vers la puce BovineHD utilisables par pratiquement toutes les races bovines laitières et allaitantes exploitées en France (Phocas, 2010). Avec un tel outil, nous espérons que l'analyse conjointe des trois races du projet Qualvigène permettra de préciser les régions QTL et de pointer des gènes candidats susceptibles d'être utilisés en sélection.

II - Génomique expressionnelle

Dans toutes les espèces d'animaux de rente, des analyses de génomique expressionnelle ont été mises en œuvre pour identifier des gènes ou protéines reliés à des caractères d'intérêt comme les qualités de la viande. Les caractères ciblés et leurs facteurs de variation pouvaient différer selon les filières mais les démarches suivies ont été assez similaires. Ce chapitre présente par espèce les stratégies développées et le bilan des résultats en fonction des objectifs de qualité recherchés.

II-1 Identification et validation de biomarqueurs des qualités technologiques et sensorielles de la viande de porc

Le porc est la principale viande consommée aux niveaux mondial, européen et français, sous forme de viande fraîche ou de produits transformés entiers ou divisés, cuits ou secs. La qualité de la viande de porc comporte donc des dimensions technologiques et sensorielles incluant elles-mêmes plusieurs caractères tels que l'évolution p.m. du pH, les pertes en eau, la couleur, la teneur en lipides intramusculaires (LIM), la tendreté, la jutosité, la flaveur... Comme pour les autres espèces, ces caractéristiques résultent d'interactions complexes entre le type génétique des animaux, leurs conditions d'élevage et d'abattage et les procédés de transformation des viandes. De nombreux facteurs contrôlant la qualité ont été identifiés, toutefois sa variabilité reste élevée, motivant la recherche de biomarqueurs de qualité. Ceci a été entrepris en considérant un caractère d'intérêt dans un dispositif différentiel (par exemple sur les LIM, la déstructuration, la force de cisaillement,...), ou bien simultanément plusieurs caractères technologiques et sensoriels dans un dispositif induisant une variabilité progressive de qualité. Si la plupart des études concernent le muscle Longissimus (LL), le Semimembranosus (SM) a également été étudié en relation avec l'importance de la production de jambon cuit et sec.

La teneur en LIM, favorable à la qualité sensorielle, présente une variabilité importante entre et au sein des populations porcines. Afin de mieux comprendre le déterminisme biologique des LIM et contribuer à l'établissement de schémas génétiques favorables, les profils transcriptomiques (MyoChip OuestGenopole, Nantes) et protéomiques du LL de deux groupes issus d'une même population et présentant des teneurs en LIM contrastées au stade d'abattage (1,36 vs 4,58%) ont été comparés (Liu et al., 2009). Les gènes impliqués dans la variabilité de ce caractère appartiennent majoritairement à 4 catégories fonctionnelles: les métabolismes glucidique et protéique, la communication cellulaire, le transport des métabolites et la capacité de réponse à des stimuli. De plus, l'expression différentielle des gènes impliqués dans la régulation de l'adipogenèse observée sur les mêmes animaux à un stade plus jeune (70 kg) renforce l'hypothèse selon laquelle la variabilité interindividuelle de la teneur en LIM dépend surtout de l'expression précoce de gènes régulant le développement d'adipocytes dans la trame conjonctive du muscle (Liu et al., 2009).

La déstructuration du muscle (perte de l'aspect fibreux au profit d'une masse molle, sans structure apparente) entraîne une perte économique importante dans l'industrie. Dans le cadre du programme « D116 » associant l'INRA, l'ENVN et un organisme de sélection et soutenu par le Fond National de la Recherche, les profils transcriptomiques du SM de deux lots de porcs présentant ou non ce défaut à l'abattage, établis sur des microréseaux d'ADNc (collaboration C. Bendixen, DK) ont révélé 54 clones différentiellement exprimés entre les lots, dont 90% plus exprimés dans les déstructurés. En particulier, l'expression de la tropomoduline 4, impliquée dans la dégénérescence de cardiomyocytes chez la souris, et des enzymes de la cascade du métabolisme glycolytique sont plus élevées (confirmation par RT-PCR) dans les muscles déstructurés (Damon et al., 2006). En parallèle, l'analyse protéomique a montré une moindre solubilité et protéolyse p.m. des protéines constitutives des muscles déstructurés ainsi que des protéines heat shock de faible poids moléculaire (Laville et al., 2005). Dans ce même programme, des échantillons de LL ont été comparés pour la force de cisaillement (FC) de la viande cuite. Les profils transcriptomiques obtenus avec les mêmes microréseaux, analysés par classification (FC haute vs basse; Lobjois et al., 2006) et régression (pour $FC \geq 30$ N; Lobjois et al., 2008) ont permis d'identifier 63 gènes associés à la FC. L'intégration des données transcriptomiques et protéomiques (14 spots différentiels, Laville et al., 2007) suggère que la régulation du métabolisme lipidique expliquerait les faibles valeurs de FC (viande tendre) alors que les mécanismes contrôlant la morphologie des fibres musculaires (nombre, taille, sarcomère,...) expliqueraient mieux les FC élevées. La recherche de profils d'expression de prédicteurs (méthode des forêts aléatoires) a permis d'identifier 12 gènes prédicteurs de la FC (Lobjois et al., 2006).

Dans le cadre du programme européen Q-Porkchains 2007-2012 (www.q-porkchains.org), un dispositif expérimental induisant une variabilité élevée de qualité a été construit, afin de mieux comprendre les phénomènes biologiques gouvernant la construction de la qualité et d'identifier des biomarqueurs. Ce dispositif basé sur les interactions génotype $\times$ environnement inclut 2 races pures contrastées (Basque et Large White) élevées dans différents systèmes d'élevage (Lebret et al., 2011). Des analyses phénotypiques fines du tissu musculaire, de la qualité sensorielle et technologique de la viande (longe) et des produits transformés (jambon sec) ainsi que les profils transcriptomiques (puce muscle 15K, Damon et al., 2011a) et protéomiques (2D DIGE) du LL ont été réalisés. En termes de mécanismes biologiques associés aux différences de physiologie musculaire et de qualité de viande selon la race, l'analyse transcriptomique met en exergue 4 clusters principaux relatifs aux processus métaboliques, la structure et l'organisation du muscle squelettique, la matrice extra-cellulaire, les lysosomes et la protéolyse (Damon et al., 2012a). L'analyse du protéome sarcoplasmique du LL associée à l'évolution de l'oxydation des protéines pendant la maturation a permis d'identifier plusieurs protéines impliquées dans ces processus (Promeyrat et al., 2011). Par ailleurs, le niveau d'expression des gènes (puce) a été corrélé à celui de plusieurs caractères technologiques et sensoriels, révélant ainsi de nombreux marqueurs potentiels. Quarante gènes impliqués dans différents processus biologiques ou composés cellulaires ont été retenus pour confirmation des corrélations par RT-PCR sur les mêmes animaux ($n=50$), puis testés pour validation sur d'autres animaux ($n=50$) du même dispositif. Soixante corrélations ($P < 0,05$) impliquant 26 gènes et 8 caractères : pHu, pertes en eau, couleur : L^* , a^* , h° (angle de teinte), LIM, FC, tendreté ($R^2 \leq 0,46$) ont ainsi été validées. Des modèles de régression multiple incluant entre 3 et 5 gènes, expliquent jusqu'à 59% de la variabilité de ces caractères (Lebret et Damon, 2011 ; Damon et al., 2012b). Une validation externe sur des animaux commerciaux a également été réalisée. D'autre part, à partir des données transcriptomiques, des modèles prédictifs ont été développés en utilisant des méthodes statistiques linéaires (régression, sparse PLS) et non paramétriques (forêts aléatoires). Pour 7 caractères (pHu, L^* , a^* , pertes en eau, LIM, FC, tendreté), un modèle comportant entre 4 et 11 gènes prédicteurs et expliquant entre 36 et 86% de la variabilité du caractère a été établi (Damon et al., 2011b). Cependant, ces résultats n'ont pas été validés par PCR, suggérant que le développement de modèles prédictifs implique de disposer d'une base de données transcriptomiques plus conséquente; le changement de méthodologie (puce vs PCR) pour quantifier l'expression génique peut aussi expliquer les difficultés de validation des modèles. Au final, ce dispositif expérimental original a permis d'identifier et de valider des biomarqueurs de qualité technologique et sensorielle de la viande de porc. Toutefois, il apparaît qu'une combinaison de marqueurs doit être considérée pour envisager le développement d'outils de contrôle p.m. précoces de la qualité.

II-2 Le cas de la viande bovine : des biomarqueurs aux outils de phénotypage

Bien que les processus biologiques qui contrôlent la qualité de la viande soient connus (Guillemin et al., 2009a) et qu'un certain nombre de QTLs aient été déterminés, le contrôle de la variabilité de la tendreté demeure un défi majeur pour la filière bovine. Cette qualité présente une variabilité forte et non maîtrisée qui induit une insatisfaction des consommateurs et explique en partie la diminution de consommation de cette viande. Cette qualité ne peut être appréciée qu'après l'abattage par des mesures mécaniques ou par un jury d'analyse sensorielle. Aussi l'ensemble de la

filière, des éleveurs, sélectionneurs jusqu'aux industriels, est en attente d'outils permettant d'estimer le potentiel de tendreté sur l'animal vivant ou la carcasse. La stratégie développée depuis une dizaine d'année a été de (1) rechercher des marqueurs de tendreté en comparant grâce aux outils de génomique des lots d'animaux extrêmes sur ce critère, (2) valider la relation entre ces marqueurs et la tendreté sur des effectifs élevés d'animaux représentatifs de l'élevage bovin français (3) d'analyser l'influence des facteurs de production sur l'expression de ces marqueurs, (4) d'approfondir l'analyse des fonctions biologiques impliquées dans l'élaboration de la tendreté, et (5) d'utiliser l'ensemble des connaissances pour développer des outils de prédiction utilisables par la filière.

II-2.1 - Utilisation des outils de génomique pour la recherche de marqueurs de tendreté

Plusieurs analyses de génomique expressionnelle ont été réalisées pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'élaboration de la tendreté et identifier des marqueurs. Ces programmes nationaux comme MUGENE (Genanimal-APISGENE 2005-09), QUALVIGENE B (Genanimal-APISGENE 2007-09), INRA-INAO (2004-06), FNADT (2003-04), GENOTEND (2008-10) ou internationaux comme ProSafeBeef (2007-2012) ont permis d'établir une liste de marqueurs biologiques de la tendreté de la viande bovine. La stratégie a consisté à comparer des groupes de viande de faible (T-) et de haut niveau de tendreté (T+) constitués à partir de mesures sensorielles et/ou instrumentales de la tendreté (Bouley et al. 2004; Chaze et al., 2009; Hocquette et al., 2007) par analyse de l'abondance des protéines (protéomique) et/ou des transcrits (transcriptomique). Les principaux résultats ont montré pour le muscle *Longissimus thoracis* (LT, entrecôte) que des protéines associées au type rapide glycolytique (phosphoglucotransférase, lactate déshydrogénase B, Isomérase triphosphate, glyceraldéhyde 3 phosphate déshydrogénase, isoformes de la troponine T rapide, β émolase...) étaient plus abondantes chez les animaux donnant la viande la plus dure (T-). D'autres résultats au niveau des transcrits ont confirmé le lien positif entre métabolisme oxydatif et tendreté. Plusieurs protéines impliquées dans le métabolisme du calcium telles que la parvalbumine ont également été identifiées comme marqueurs positifs de la tendreté (Bouley et al., 2004), en accord avec le rôle important que joue le calcium dans la maturation (Ouali, 1992). Des protéines de la famille des Heat Shock (Hsp) ont été révélées comme marqueurs de la tendreté au niveau du transcrit ou de la protéine dans différentes expérimentations (Hsp40, Hsp27, Hsp20, α -B cristalline, Hsp70) (pour revue Picard et al., 2011 ; Hocquette et al., 2012). Selon la théorie de Ouali et al. (2006), l'activité anti-apoptique des Hsp pourrait ralentir le processus de mort des cellules en phase p.m. précoce et améliorer ainsi la tendreté. Hollung et al. (2007) ont également prouvé que 48 heures après abattage, la teneur en fragments de protéines structurales telles que l'actine, la myosine, la troponine T et des enzymes métaboliques étaient positivement corrélée avec la tendreté. D'autres protéines impliquées dans le stress oxydant, telles que la super oxyde dismutase (SOD1) ou la peroxiredoxine 6 (PRDX6) sont reliées négativement à la tendreté (Guillemin et al., 2012). Le même type d'étude conduit sur le muscle *Semitenidosus* (ST) montre des différences dans les marqueurs identifiés selon le type de muscle (Guillemin et al., 2012). De même, une spécificité de ces marqueurs selon les races a été mise en évidence (Chaze et al., 2009).

Ces analyses comparatives ont été conduites principalement chez des taurillons de différentes races et chez des bœufs charolais. Aussi, les programmes en cours (Phenotend 2011-2013) cherchent à valider la relation entre marqueurs et tendreté sur de larges effectifs de bovins représentatifs des systèmes de production français : vaches, génisses, bœufs, taurillons des races à viande, mixtes et laitières. Un intérêt particulier est porté aux vaches représentant la plus forte part de consommation de viande bovine. Par ailleurs, à partir d'une liste de 24 protéines identifiées comme biomarqueurs de tendreté, des outils de bioinformatique ont été utilisés afin de rechercher les protéines interagissant avec chacune de ces protéines. Cette démarche a permis de préciser les grandes fonctions biologiques impliquées dans la tendreté (Guillemin et al., 2011a), mais aussi d'enrichir la liste de biomarqueurs d'environ 200 protéines candidates. Le lien entre l'expression de ces protéines et la tendreté est en cours de validation, notamment dans des dispositifs faisant varier les facteurs d'élevage. Ainsi, le niveau d'expression de la protéine Hsp40 codée par le gène DNAJA1, est plus élevé chez les jeunes bovins mais aussi dans les muscles oxydatifs (Cassar-Malek et al., 2011). Les protéines de la famille des « small Hsp » : Hsp27, Hsp20 et α -B cristalline sont aussi plus abondantes chez les taurillons que chez les bœufs alors que l'inverse est observé pour les protéines de la famille des Hsp70 (Hsp70/GRP75). D'autre part, en race charolaise, l'abondance de différentes protéines liées aux caractéristiques contractiles et métaboliques et dont la relation avec la tendreté a été validée varie plus selon le muscle considéré (LT vs ST) que le type d'animal (taurillons vs bœufs) (Guillemin et al., 2011b). Cette démarche est actuellement complétée pour différents biomarqueurs en fonction de différents facteurs de production afin de pouvoir *in fine* préciser les pratiques d'élevage les plus appropriées aux types d'animaux utilisés afin de maximiser l'expression de leur potentiel de tendreté.

II-2.2 - Le développement d'outils d'analyse à grande échelle

Partant de la liste de biomarqueurs identifiés et des connaissances sur le contrôle de leur expression, la démarche est d'élaborer des outils permettant de quantifier à grande échelle ces marqueurs au niveau des transcrits ou des protéines. **Au niveau des transcrits :** Plus de 3000 gènes (correspondant à 13409 sondes oligonucléotidiques) impliqués dans la biologie du muscle ou la qualité de la viande ont été sélectionnés à partir d'études génétiques, protéomiques ou transcriptomiques, ou de publications scientifiques et regroupés sur une puce à ADN (puce GENOTEND, technologie Agilent ; Hocquette et al, 2012). Autant que possible, plusieurs sondes ont été utilisées pour chaque gène (par exemple 17 sondes pour le marqueur DNAJA1). La base de données GENOTEND a été référencée par l'Agence pour la Protection des Programmes, elle est sous contrat de licence (Imaxio, biopôle Clermont-Limagne). Cet outil a été utilisé pour analyser le transcriptome de deux muscles de valeur bouchère différente sur une centaine de taurillons et bœufs charolais et une centaine de taurillons limousins. Les résultats ont validé l'expression du gène DNAJA1 comme marqueur de la dureté (Bernard et al., 2007, 2009). Ils ont aussi révélé la relation de groupes de gènes avec la tendreté sensorielle ou la force de cisaillement (familles des Hsp, métabolismes énergétique et lipidique), la flaveur et la jutosité.

En particulier, un groupe de quatre gènes de Hsps a permis d'expliquer 40% de la variabilité de la tendreté dans le groupe de taurillons. Ce groupe a été validé par analyse de régression multiple sur d'autres groupes d'animaux (taurillons et bœufs). Ainsi, il permet de prédire la tendreté de 3 des 4 groupes d'animaux du dispositif expérimental charolais indiquant que les marqueurs de tendreté peuvent être spécifiques d'une ou plusieurs populations. Cet outil a d'ores et déjà été utilisé par différentes équipes étrangères pour prédire la qualité de la viande de bovins (au Portugal, Royaume-Uni, et Allemagne) ou de dromadaires (en Arabie Saoudite) et a notamment permis d'étudier l'effet de la nature des lipides alimentaires sur la composition en acides gras de la viande bovine (Hiller et al., 2012). **Au niveau des protéines :** Une première démarche pour mesurer l'abondance de protéines marqueurs a consisté à développer un outil, le Dot-blot : il s'agit de déposer les extraits protéiques sur une membrane et d'hybrider celle-ci avec un anticorps spécifique de la protéine recherchée, après vérification de la spécificité de l'anticorps et définition des conditions optimale d'utilisation par la technique de western-blot. Ainsi, environ 50 anticorps ont été testés (Guillemin et al., 2009b). Une fois validée, cette technique a été utilisée pour quantifier l'abondance des protéines d'intérêt simultanément sur une centaine d'échantillons. Afin de passer à une application pratique, un prototype de « puce à anticorps » qui consiste, à l'inverse, à déposer les anticorps sur la membrane et à hybrider celle-ci avec l'extrait protéique, est en cours de développement par la société Protনেতমিক্স (Nantes) dans le projet PHENOTEND financé par APIS-GENE. Le principe est d'hybrider tous les anticorps d'intérêt sur une puce (membrane) qui permettra d'analyser simultanément environ 60 échantillons dans un temps limité (en 24 à 48 heures) et à un coût raisonnable (estimé à moins de 20 euros par échantillon).

II-3 Le cas du poulet : Recherches des biomarqueurs du métabolisme impliqués dans l'élaboration de la qualité des viandes

Parmi les caractéristiques musculaires à cibler pour améliorer la qualité, les réserves en glycogène *in vivo* constituent un déterminant majeur. *Via* leur effet sur le pH ultime, elles influencent à la fois les propriétés technologiques mais aussi sensorielles de la viande. Afin de mieux appréhender les mécanismes moléculaires impliqués dans les variations de glycogène musculaire, des analyses combinées de génomique expressionnelle et positionnelle ont été réalisées dans le cadre du programme ANR Genanimal QUALVIVOL (2006-2010). Les analyses ont été réalisées sur une population issue d'un croisement de type F2 entre des lignées maigre et grasse sélectionnées de manière divergente sur l'adiposité abdominale mais se différenciant par ailleurs par leurs réserves en glycogène musculaire et la qualité de leur viande (Sibut et al., 2008). La comparaison du transcriptome musculaire d'animaux issus de ce croisement et divergeant pour la teneur en glycogène a permis l'identification de plusieurs marqueurs physiologiques ou voies métaboliques susceptibles de réguler le turn-over glucidique dans le muscle (Sibut et al., 2011). Parmi les gènes identifiés, certains joueraient un rôle *via* les voies de signalisation dépendantes de l'AMP cyclique ou encore de l'AMP. En particulier un rôle central du complexe AMP-activated protein kinase (AMPK), dont le niveau d'activation par phosphorylation est inversement lié aux teneurs en glycogène musculaire *in vivo* (Sibut et al., 2008), a été révélé. De manière intéressante, il a été observé que l'activation de la voie AMPK et la réduction des réserves en glycogène musculaire peuvent être aussi induites par un apport limité en protéines dans la ration, avec pour conséquence l'amélioration de la qualité de la viande (Jlali et al., 2012). L'identification des acteurs moléculaires clés (ou biomarqueurs) qui contrôlent la qualité des viandes est une étape essentielle dans la compréhension du contrôle physiologique de ce type de caractère et dans l'exploration de nouvelles stratégies d'élevage pour améliorer la compétitivité de la filière volaille de chair.

II-4 Recherche de biomarqueurs de qualité chez les poissons

L'application des outils de la génomique pour l'identification de biomarqueurs de qualité est moins avancée chez les poissons. La texture de la chair, qualité essentielle pour la transformation des produits crus et la consommation des produits cuits, est principalement déterminée par des facteurs biologiques tels que l'organisation musculaire, et la teneur et la composition en protéines. Contrairement à la viande, la qualité recherchée est une chair ferme, avec une bonne tenue et de bonnes capacités de rétention d'eau. Ces propriétés étant surtout liées à la nature et aux propriétés des protéines, le niveau d'expression des gènes codant pour ces protéines (transcriptomique) ou l'analyse des protéines elles-mêmes (protéomique) apparaissent particulièrement pertinents pour identifier des biomarqueurs de qualité.

Les premières applications de la protéomique sur des questions de qualité de la chair des poissons ont porté sur l'évolution p.m. du protéome musculaire en relation avec la baisse de fermeté des filets. Chez la morue, la dégradation des protéines musculaires est plus limitée que chez les mammifères (11 spots dont l'intensité varie en 2D-PAGE après 8 jours p.m.) et ces protéines n'ont pas encore été identifiées (Kaersgaard and Jessen, 2003) ce qui illustre la difficulté des approches protéomiques pour des espèces où peu de données de génomique sont disponibles. Plus récemment, le suivi de l'évolution des protéines musculaires de truite 5 jours p.m. par SDS-PAGE, en relation avec la texture, a montré que la fermeté corrèle à la fois avec le niveau d'expression de protéines myofibrillaires (α -actinine, actine, MyLC 1 et 2, fragment de MyHC) et de protéines sarcoplasmiques (Godiksen et al., 2009). Les approches protéomiques ont donc permis d'identifier de nouvelles cibles de la protéolyse p.m. et d'éclairer les implications probables des différents systèmes protéolytiques dans l'élaboration de la qualité de la chair.

La comparaison de poissons présentant des phénotypes extrêmes de texture, Mou (F-) ou Ferme (F+), a été très récemment abordée chez les salmonidés par analyse du transcriptome musculaire. Chez le saumon Atlantique, des régressions positives ont été observées entre la fermeté et des gènes codants pour des composants du protéasome, des protéines mitochondriales, des protéines de stress et des protéines du métabolisme lipidique. Des régressions négatives, un peu plus faibles, ont été mesurées avec des gènes codant pour des protéines du métabolisme glucidique et des

protéines myofibrillaires (Larsson et al., 2012). Chez la truite arc-en-ciel, l'analyse du transcriptome musculaire de poissons extrêmes pour le phénotype de fermeté met en avant l'importance des systèmes protéolytiques et des protéines du tissu conjonctif (Lefèvre et al., résultats non publiés).

Il est bien démontré dans toutes les espèces qu'un stress au moment de l'abattage a des répercussions sur la qualité finale des produits (voir synthèse de Terlouw et al., JSMTV 2012). Des modifications du protéome musculaire analysé par 2D-PAGE, associées à un stress ont été rapportées. Un stress de 15 min juste avant l'abattage chez la truite arc-en-ciel, associé à une intense activité musculaire, affecte à la fois les protéines impliquées dans le métabolisme musculaire (triose-phosphate isomérase, énoïase, pyruvate déshydrogénase) et les protéines de structure (desmine, cap-Z, fragment de MyHC) (Morzel et al., 2006). Chez le saumon Atlantique, un stress de confinement de 40 min. modifie l'abondance de 27 spots protéiques correspondant à des protéines de structure (actine, MyLC, MyHC, tropomyosine) et des enzymes du métabolisme énergétique (créatine kinase, énoïase, phosphoglycérate kinase), suggérant un métabolisme p.m. accéléré (Veiseth-Kent et al., 2010). Un stress de confinement de 15 min. appliqué à des truites sélectionnées pour leur faible (LR) ou forte (HR) réactivité au stress, conduit à une augmentation de l'intensité de spots en 2D-PAGE (desmine, MyLC3, myéloperoxydase, malate déhydrogénase, apolipoprotéine A1, Nme, et une parvalbumine) mais sans différence entre les deux lignées. Une ACP des données de protéomique et des paramètres de texture montre que la desmine et la FABP-H sont positivement corrélées avec la fermeté des filets crus, tandis que la myéloperoxydase et l'apolipoprotéine A1 lui sont négativement corrélées. La fermeté de la chair cuite est quant à elle positivement corrélée à l'apolipoprotéine A1, Nme et une parvalbumine (Lefèvre et al., données non publiées).

En conclusion, l'identification de biomarqueurs de qualité de la chair bien que moins avancée chez les poissons que chez les animaux terrestres suggère certains déterminismes biologiques spécifiques au poisson. Les approches transcriptomique et protéomique sont complémentaires, l'analyse du transcriptome permettant d'étudier l'implication de protéines non solubles (protéines matricielles) et donc non accessibles par l'approche protéomique en 2D-PAGE.

III. e-QTL : combinaison de la génomique structurale et expressionnelle

La stratégie développée jusqu'à récemment visait à intégrer des informations génétiques et phénotypiques pour rechercher des QTL expliquant la variabilité phénotypique (par exemple des QTL de la tendreté) ou bien à comparer des informations phénotypiques et d'expression pour identifier des gènes régulés. Une première stratégie consiste à rechercher parmi les gènes différentiellement exprimés ceux qui sont localisés dans des régions QTL pour le phénotype étudié. Dans ce cas, ces gènes peuvent être proposés comme gènes candidats positionnels et expressionnels pour expliquer les effets du QTL. Une autre stratégie est d'identifier des eQTL c'est-à-dire des régions QTL impliquées dans la régulation génétique de l'expression de certains gènes (le niveau d'expression est alors considéré comme une mesure phénotypique). Dans ce cas l'idéal est d'étudier des profils transcriptomiques à partir de données de puce mais l'approche peut aussi s'envisager en analysant l'expression d'un gène candidat particulier.

Chez le porc, dans le cadre du programme national « D116 » portant sur la tendreté de la viande, il a été possible de localiser sur le génome 12 gènes régulés en fonction de la force de cisaillement dans quatre régions chromosomiques d'intérêt (QTL) sur les chromosomes 2, 6 et 13. Ceci a conduit à proposer des gènes candidats positionnels et fonctionnels pour expliquer les effets observés de ces QTL. Il est à noter que la moitié de ces gènes sont soit inconnus soit n'auraient pas été proposés par la recherche de gènes candidats sur l'hypothèse de fonction associée attendue. Ceci souligne donc l'intérêt d'allier des approches génétiques et expressionnelles pour élargir le champ de nos connaissances. Pour aller encore plus dans l'intégration des données d'expression et des données génétiques, une famille F2 de 57 porcs a été choisie pour rechercher des eQTL. Les génotypes des 57 individus ont été obtenus avec 170 marqueurs microsatellites et les profils d'expression (microréseaux de 9000 ADNc multi tissus, Bonnet et al., 2008) obtenus à partir des 57 longes correspondantes. Au total 272 gènes ont été identifiés comme étant génétiquement régulés par 335 eQTL (Liaubet et al., 2011). La moitié de ces eQTL sont organisés en clusters sur les chromosomes 1, 2, 10, 13, 16 et 18 suggérant qu'un ou plusieurs gènes localisés dans la région génomique du cluster peuvent être responsables de la variabilité d'expression des gènes ayant des eQTL co-localisés. Parmi les eQTL identifiés, la plupart sont des *trans*-eQTL (cas où les gènes sont localisés loin de leur région régulatrice) les autres (au nombre de 18 seulement) étant des *cis*-eQTL (cas où le gène co-localise avec sa région eQTL). A titre d'exemple, le cluster de 31 eQTL localisé sur le chromosome 1 contient un *cis*-eQTL régulant l'expression du gène *COQ4* mais qui pourrait aussi réguler indirectement les 30 autres gènes du cluster dont les expressions corréleront presque toutes avec celle de *COQ4*, qui code pour une des protéines du complexe des Coenzymes Q impliqué dans la chaîne respiratoire mitochondriale (Casarin et al., 2008 ; Turunen et al., 2004). Chez le porc, plusieurs QTL régulant la croissance et l'adiposité ont d'ailleurs la même localisation que ce cluster de eQTL (Rohrer et al., 1998 ; Bidanel et al., 2001 ; de Koning et al., 1999 ; Sanchez et al., 2006) suggérant que le cluster de eQTL situé sur le chromosome 1 porcin pourrait réguler la physiologie musculaire en modulant le fonctionnement de la chaîne respiratoire mitochondriale et les processus de mort cellulaire. Le polymorphisme causal reste toutefois à identifier.

Ainsi, **chez le poulet**, le développement d'études conjointes de génomique expressionnelle, avec l'analyse du transcriptome musculaire, et de génomique positionnelle pour la détection de QTL a conduit à l'identification d'un polymorphisme causal ou marqueur génétique régulant la coloration de la viande. Il s'agit du gène *BCMO1* codant pour la β,β -carotène 15,15'-monooxygénase 1, enzyme clé de la conversion du β -carotène (un pigment jaune apporté par l'alimentation) en vitamine A (Le Bihan-Duval et al., 2011). Cette découverte a nécessité plusieurs étapes avec (1) la primo-détection puis le raffinement d'une région QTL contrôlant la coloration jaune et rouge du filet au sein du croisement F2 entre souches à croissance lente ou rapide, (2) l'analyse bioinformatique et l'identification d'un gène

candidat fonctionnel et positionnel, (3) la quantification du niveau d'expression du gène et la détection d'un cis eQTL, (4) le séquençage des régions régulatrices et l'identification de mutations candidates, (5) la confirmation du rôle fonctionnel de deux SNP par une approche de type gène rapporteur. L'ensemble de ces résultats, qui ont conduit à la mise au point d'un test moléculaire utilisable en sélection, a fait l'objet d'un dépôt de brevet international (Le Bihan-Duval et al., 2010) et d'une offre commerciale d'INRA transfert. Ce résultat est notable car, dans le domaine des productions animales, l'identification d'une mutation causale associée à un QTL reste assez rare, toutes espèces de rente confondues. Concernant la qualité des viandes, les mutations les plus connues sont les gènes majeurs HAL (Halothane) et RN (Rendement Napole), identifiés chez le porc comme responsables des défauts de qualité « PSE » et « viandes acides », respectivement. L'approche « eQTL » utilisée en poulet montre l'intérêt de cette démarche qui, dans ce cas, a validé le gène candidat et orienté la recherche des mutations candidates au sein du promoteur, raccourcissant ainsi l'étape souvent très laborieuse de cartographie fine. L'identification de mutations associées à un caractère d'intérêt ouvre de larges champs d'application pour la recherche d'une part mais aussi pour la sélection commerciale, notamment pour des caractères difficiles et coûteux à mesurer, comme c'est le cas pour la qualité de la viande.

Chez le bovin, l'approche eQTL va se décliner en une approche « pQTL » qui vise à localiser les QTL qui participent au contrôle de la variabilité de l'abondance de protéines. Cette stratégie va être appliquée sur les quelques dizaines de protéines qui ont été identifiées comme biomarqueurs pertinents de la qualité en particulier la tendreté de la viande. En effet grâce à la mise au point d'une puce à anticorps (cf § II.2.2), l'abondance d'un grand nombre de protéines pourra être quantifiée simultanément et à grande échelle sur les populations expérimentales du projet Qualvigène déjà phénotypée pour la tendreté et bénéficiant d'un génotypage réalisé avec la puce BovineSNP50.

Conclusion

Les différentes études génomiques mise en place ces dernières années dans le cadre de programmes nationaux ou internationaux, le plus souvent avec le soutien financier des professionnels (AGENAE, APIS-GENE, AGENAVI ...), ont permis des avancées significatives dans la connaissance des mécanismes génétiques et plus généralement biologiques qui gouvernent l'établissement des différentes composantes de la qualité des viandes. Quelle que soit l'espèce étudiée, il apparaît clairement que les caractéristiques des viandes reposent sur des processus biologiques complexes qui impliquent un grand nombre de biomarqueurs. Les études génomiques ont permis aux scientifiques d'avoir une vision intégrée des différents mécanismes d'élaboration de la qualité, notamment de leurs interactions. Les principales retombées de ces connaissances sont tout d'abord une amélioration des possibilités de prédiction de la qualité, et l'exemple du développement des outils de prédiction chez le bovin en atteste. Un autre type d'application réside dans la mise au point d'outil d'aide à la sélection. Les applications sont encore limitées dans ce domaine mais l'exemple du test génétique de la coloration des viandes développé chez le poulet est encourageant. Plus généralement, l'identification de biomarqueurs bénéficiera aux études sur le contrôle de la qualité par les facteurs d'élevage et contribuera en ce sens à l'élaboration de stratégies de production innovantes et adaptées aux objectifs des filières. Les recherches en génomique se poursuivent actuellement dans la plupart des laboratoires français qui étudient la qualité des viandes. Elles bénéficient des récents développements technologiques au niveau du séquençage à haut débit (puce SNP, RNAseq, etc.) mais aussi des efforts de l'INRA pour mettre en place des plateformes de phénotypage à haut débit, l'objectif à terme étant de proposer aux professionnels des différentes filières des outils moléculaires efficaces pour maîtriser la qualité de leur production.

Les auteurs remercient l'ensemble des participants aux différents projets qui ont donné lieu à ces résultats et tous les financeurs qui ont permis la réalisation de ces recherches.

- Allais S., Journaux L., Lepetit J., Rousset S., Denoyelle C., Bernard-Capel C., Hocquette J.F., Levéziel H., Rossignol M.N., and Renand G. 2012. 14^{èmes} JSMTV, Caen, France.
- Allais S., Journaux L., Levéziel H., Payet-Duprat N., Raynaud P., Hocquette J.F., Lepetit J., Rousset S., Denoyelle C., Bernard-Capel C., Renand G., 2011. Journal of Animal Sciences, 89, 1-11.
- Bernard C., Cassar-Malek I., Le Cunff M., Dubroeuq H., Renand G., Hocquette J.F., 2007. J. Agric. Food Chem., 55, 5229-5237.
- Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Bernard C., 2006. INPI, patent 06 300943.5. 12, 008-03-19 EP1900826, with Inra and Apis-Gène. International extension (PCT/EP2007/059585, US- 2009/0311689-A1., WO 02/064820, Europe EP07820152.2 (n° publication EP2061902)
- Bidanel J.P., Milan D., Iannuccelli N., Amigues Y., Boscher M.Y., Bourgeois F., Caritez J.C., Gruand J., Le Roy P., Lagant H., Quintanilla R., Renard C., Gellin J., Ollivier L., Chevalet C. 2001. Genetics Selection Evolution, 33, 289-309.
- Bolormaa S., Porto Neto L.R., Zhang Y.D., Bunch R.J., Harrison B.E., Goddard M.E., Barendse W., 2011. Journal of Animal Sciences, 89, 2297-2309.
- Bonnet A., Iannuccelli E., Hugot K., Benne F., Bonaldo M.F., Soares M.B., Hatey F., Tosser-Klopp G. 2008. BMC Genomics, 9, 17.
- Bouley J., Meunier B., Culioli J., Picard B., 2004. Rencontres Recherches Ruminants, 11, 87-89.
- Casarin A., Jimenez-Ortega J.C., Trevisson E., Pertegato V., Doimo M., Ferrero-Gomez M.L., Abbadi S., Artuch R., Quinzii C., Hirano M., Basso G., Ocana C.S., Navas P., Salviati L. 2008. Biochemical and Biophysical Research Communications 372, 35-39.
- Cassar-Malek I., Guillemin N., Hocquette J.F., Micol D., Bauchart D., Picard B., Jurie C. 2011. Animal 5, 867-874.
- Chaze T., Hocquette J.F., Meunier B., Renand G., Journaux L., Capel C., Picard B. 2009. Rencontres Recherches Ruminants, 16, 152-154.
- Damon M., Denieul K., Vincent A., Bonhomme N., Wyszynska-Koko J., Lebret B. 2012b. Meat Science, submitted.

- Damon M., Herault F., Vincent A., Le Roy P., Cherel P. 2011a. Nature Preceedings. <http://proceedings.nature.com/documents/5730/version/1>
- Damon M., Vincent A., Cherel P., Frank M., Le Roy P. 2006. 1st Conference on Pig Genome, 20-21/02, Lodi, Italie. 44.
- Damon M., Wyszynska-Koko J., Guernec G., Lebret B. 2011b. Journées de la Recherche Porcine, 43, 47-48.
- Damon M., Wyszynska-Koko J., Vincent A., Hérault F., Lebret B. 2012a. PLoS ONE 7(3), e33763.
- de Koning D.J., Janss L.L., Rattink A.P., van Oers P.A., de Vries B.J., Groenen M.A., van der Poel J.J., de Groot P.N., Brascamp E.W., van Arendonk J.A. 1999. Genetics, 152, 1679-1690.
- Druet T., Georges M., 2010. Genetics, 184, 789-798.
- Duijvesteijn N., Knol E.F., Merks J.W.M., Crooijmans R.P.M.A., Groenen M.A.M., Bovenhuis H., Harlizius B., 2010. BMC Genetics, 11, 42.
- Gautier M., Faraut T., Moazami-Goudarzi K., Navratil V., Foglio M. et al., 2007. Genetics, 177, 1059-1070.
- Godiksen H., Morzel M., Hyldig G., Jessen F., 2009. Food Chemistry, 113, 889-896.
- Grindflek E., Lien S., Hamland H., Hansen M.H.S., Kent M., van Son M., Meuwissen T.H.E. 2011. BMC Genomics, 12, 362.
- Guillemin N., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Jurie C., Micol D., Listrat A., Levéziel H., Renand G. Picard B. 2009a. INRA Productions Animales, 22, 331-344.
- Guillemin N., Meunier B., Jurie C., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Levéziel H., Picard B. 2009b. J. Physiol. Pharm., 60, 91-97.
- Guillemin N., Jurie C., Renand G., Hocquette J.F., Micol D., Lepetit J., Picard B. 2012. International Journal of Biology, 4, 26-38.
- Guillemin N., Jurie C., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Renand G., Picard B. 2011b. Animal, 5, 885-894.
- Guillemin N., Bonnet M., Jurie C., Picard B. 2011a. Journal of Proteomics, 75, 352-365.
- Hiller B., Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Nuernberg G., Nuernberg K., 2012. British Journal of Nutrition, in press.
- Hocquette J.F., Bernard C., Cassar-Malek I., Lepetit J., Micol D., Jurie C., Meunier B., Renand G., Picard B., 2007. Rencontres Recherches Ruminants, 14, 117-120.
- Hocquette J.F., Bernard-Capel C., Vidal V., Jesson B., Levéziel H., Renand G., Cassar-Malek I. 2012. BMC Vet. Res. *in press*
- Hollung K., Veiseth E., Jia X., Faergestad E.M., Hildrum K.I. Meat Science, 77, 97-104
- Hue Z.L., Fritz E.R., Reecy J.M. 2007. Nucleic Acids research, 35, 604-609.
- Jlali M., Gigaud V., Métayer-Coustard S., Sellier N., Tesseraud S., Le Bihan-Duval E., Berri C. 2012. J. Animal Sci. 90, 447-455.
- Kjaersgard I.V.H., Jessen F. 2003. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 3985-3991.
- La Révolution Génomique Animale. 2011. Editions France Agricole Institut de l'Elevage -INRA, p 78-111.
- Lalani S.R., Vladutiu G.D., Plunkett K., Lotze T.E., Adesina A.M., Scaglia F. 2005. Archives of Neurology, 62, 317-320.
- Larsson T., Mørkøre T., Kolstad K., Østbye T.K., Afanasyev S., Krasnov A. 2012. PLoS ONE 7(6): e39219.
- Laville E., Sayd T., Sante-Lhoutellier V., Morzel M., Labas R., Franck M., Chambon C., Monin G. 2005. Meat Science, 70, 167-172.
- Laville E., Sayd T., Terlouw C., Chambon C., Damon M., Larzul C., Leroy P., Glenisson J., Cherel P., 2007. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, 5834-5841.
- Le Bihan-Duval E., Nadaf J., Berri C., Duclos M., Pitel F., 2010. Brevet déposé le 2008/08/25, n° EP2161345A1.
- Le Bihan-Duval E., Nadaf J., Berri C., Pitel F., Graulet B., Godet E., Leroux S., Demeure O., Lagarrigue S., Duby C., Cogburn L., Beaumont C., Duclos M.J., 2011. Plos One, 6, 10 p. (e14825).
- Le Mignon G., Iannuccelli N., Robic A., Billon Y., Bidanel J.P., Larzul C., 2010. 8th WCGALP, Leipzig, Allemagne.
- Lebret B., Damon M. 2011. Proc. Q-PorkChains conference, 27-28/10, Palma de Mallorca, Spain. Paper SD_3. <http://www.q-porkchains.org/news/Conference/conference/programme/presentations.aspx>
- Lebret B., Damon M., Gondret F., Lefaucheur L., Louveau I., Prunier A., Bonhomme N., Ecolan P., Wyszynska-Koko J., Lepetit J., Méteau K., Barthélémy S., Pollet P.Y., Dourmad J.Y. 2011. Journées de la Recherche Porcine, 43, 39-46.
- Liaubet L., Lobjois V., Faraut T., Tircazes A., Benne F., Iannuccelli N., Pires J., Glénisson J., Robic A., Le Roy P., SanCristobal M., Cherel P. 2011. BMC Genomics, 12, 548.
- Liu J., Damon M., Guitton N., Guisle I., Ecolan P., Vincent A., Cherel P., Gondret F. 2009. J. Agric. Food Chem., 57, 3808-3817.
- Lobjois V., Liaubet L., SanCristobal M., Glénisson J., Fève K., Rallières J., Le Roy P., Milan D., Cherel P., Hatey F. 2008. Animal Genetics, 39, 147-162.
- Lobjois V., Liaubet L., SanCristobal M., Le Roy P., Cherel P., Hatey F. 2006. Journées de la Recherche Porcine, 38, 97-104.
- Morzel M., Chambon C., Lefevre F., Paboeuf G., Laville E. 2006. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54, 2997-3001.
- Nadaf J., Gilbert H., Pitel F., Berri C.M., Fève 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.
- Ouali A., 1992. Biochimie, 74 (3), 251-265.
- Ouali A., Herrera-Mendez C. H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M. A., 2006. Meat Science, 74 (1), 44-58.
- Phocas F., 2010. <http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/environnement-et-ressources-biologiques/adaptation-des-genes-aux-populations/fiche-projet-genom-btv>
- Picard B., Cassar-Malek I., Guillemin N., Bonnet M., 2011b. In: Murray Moo-Young (ed.), Comprehensive Biotechnology, 2nd Edition, volume 4, pp. 395-405. Elsevier.
- Promeyrat A., Sayd T., Laville E., Chambon C., Lebret B., Gatellier P. 2011. Food Chemistry 127, 1097-1104.
- Rohrer G.A., Keele J.W. 1998. Journal of Animal Science, 76, 2247-2254.
- Sanchez M.P., Tribout T., Iannuccelli N., Bouffaud M., Servin B., Dehais P., Muller N., Mercat M.J., Estelle J., Bidanel J.P., Rogel-Gaillard C., Milan D., Gilbert H., 2012. 14^{èmes} JSMTV, Caen.
- Sanchez M.P., Riquet J., Iannuccelli N., Gogue J., Billon Y., Demeure O., Caritez J.C., Burgaud G., Fève K., Bonnet M., Pery C., Lagant H., Le Roy P., Bidanel J.P., Milan D. 2006. Journal of Animal Science, 84, 526-537.
- Sibut V., Hennequet-Antier C., Le Bihan-Duval E., Marthey S., Duclos M.J., Berri C., 2011. BMC Genomics, 12, 13 p.
- Sibut V., Le Bihan-Duval E., Tesseraud S., Godet E., Bordeau T., Cailleau-Audouin E., Chartrin P., Duclos M.J., Berri C., 2008. Journal of Animal Science, 86, 2888-2896.
- Turunen M., Olsson J., Dallner G. 2004, Biochimica et Biophysica Acta 1660, 171-199.
- Veiseth-Kent E., Grove H., Faergestad E.M., Fjaera S.O. 2010. Aquaculture, 309, 272-279.

TERLOUW E.M.C.¹, BOURGUET C.², CASSAR-MALEK I.¹, DEISS V.¹, LEBRET B.³,
LEFEVRE F.⁴, PICARD B.^{1*}

¹ INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès Champanelle

² Bureau ETRE, Le Colombier, F-63210 Saint Pierre Roche

³ INRA, UMR1348 PEGASE, F-35590 Saint-Gilles

⁴ INRA, UR1037 Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons, F-35042 Rennes

*Les co-auteurs sont présentés par ordre alphabétique

Abstract: Stress at slaughter and meat quality: confirmation of their relationships.

It has long been known that stress during the slaughter period may result in the production of meat with major quality defects, particularly PSE and DFD meat. Recent studies using behavioural, physiological and/or genomic approaches found that less extreme stress levels during slaughter may also influence technological and/or sensory quality of meat of pigs, cattle, sheep, and fowl and of fish flesh, sometimes explaining over 70% of inter-animal variability. Stress reactivity at slaughter varies between animals and may be predicted from reactions to stressful challenges during the rearing period. The stress reactivity of an animal depends partly on its earlier experiences and genetic background. In addition to slaughter-related animal welfare questions, today's challenge is to increase our understanding of the physiological and molecular mechanisms underlying the effects of stress on meat quality. The different species should be taken into account, as the causes of stress at slaughter and criteria for optimal meat quality are species-specific. In addition, the mechanisms underlying the effect of stress on meat and flesh quality differ at least partly between species.

Introduction

On sait depuis plusieurs décennies que les conditions d'abattage influencent les qualités des viandes. Les recherches se sont d'abord intéressées à la production de viandes à défaut majeur : les viandes à coupe sombre, ou DFD (Dark, Firm and Dry, et les viandes exsudatives, ou PSE (Pale, Soft and Exudative). Les premières sont caractérisées par un pH ultime élevé et une très mauvaise conservation. Elles peuvent être observées chez l'ensemble des espèces bouchères. Les viandes exsudatives sont quant à elles caractérisées par une diminution rapide du pH *post-mortem* (*p.m.*) ; elles ont un pouvoir de rétention d'eau faible et deviennent dures après cuisson. Ce défaut est essentiellement observé chez le porc et la volaille. Ces recherches initiales ont permis de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans le déterminisme des qualités technologiques et sensorielles des viandes. Aujourd'hui, les progrès sur le terrain ont permis de limiter les risques de production de telles viandes. Les études relatives aux effets du stress sur les qualités des produits se sont par la suite élargies, incluant des espèces initialement peu étudiées comme les ovins et les poissons (Terlouw et al., 2008). Elles ont apporté de nouvelles connaissances sur les sources de stress à l'abattage, en particulier le stress émotionnel, et sur le rôle de la génétique et du vécu dans la réactivité au stress. Plus récemment, les recherches ont permis d'approfondir nos connaissances sur les effets du stress avant l'abattage, qui, même lorsqu'il est limité, peut être à l'origine de variations des qualités technologiques et sensorielles des viandes.

Le stress peut se définir comme l'ensemble des réactions comportementales et physiologiques en réponse à une menace réelle ou imaginaire, associées à un état émotionnel négatif. La période d'abattage comprend une série d'interventions potentiellement stressantes, qui débute généralement avec la mise à jeun et le départ pour l'abattoir et s'achève lors de la mise à mort de l'animal. Pendant cette période, certains facteurs de stress sont d'origine physique ou physiologique, comme la privation alimentaire, la fatigue ou la douleur, et d'autres sont d'origine psychologique, comme la présence de l'homme, l'absence de congénères familiers ou la confrontation à des environnements nouveaux (Terlouw et al., 2008). Les principales réponses physiologiques de stress correspondent à l'augmentation de la fréquence cardiaque et à la sécrétion d'hormones dites « de stress » : cortisol et catécholamines. Les réactions comportementales peuvent se traduire par la fuite ou des attaques. Ces réactions physiologiques et comportementales peuvent avoir des effets mesurables sur les qualités des viandes. Les mécanismes sous-jacents impliquent le métabolisme énergétique musculaire et sont assez bien décrits. Les réactions physiques et physiologiques se produisant dans les heures précédant l'abattage diminuent les réserves glucidiques du muscle, ce qui peut se traduire par un pH ultime plus élevé et une couleur de la viande plus sombre. Par contre, ces mêmes réactions ayant lieu juste avant l'abattage résultent en une accélération du métabolisme musculaire qui perdure après la mort et qui peut se traduire par une acidification musculaire *p.m.* plus rapide alors que l'abaissement de la température musculaire est ralenti. La viande sera alors plus claire, avec un moins bon pouvoir de rétention d'eau (Lefèvre et al., 2008a ; Terlouw et al., 2008).

Pour certaines espèces, les évolutions du pH et de la température *p.m.* peuvent expliquer une grande part des variations des qualités sensorielles des produits, comme le pouvoir de rétention d'eau, la couleur, la texture ou la tendreté. C'est le cas chez les porcs, la volaille et les poissons (Le Bihan-Duval et al., 2008 ; Jelenikova et al., 2008 ; Lefèvre et al., 2008a ; Bjornevik et Solbakken, 2010). Chez les bovins, les liens entre les caractéristiques sensorielles et l'évolution du

pH *p.m.* semblent beaucoup plus complexes (Boudjellal et al., 2008). La présente revue expose les derniers travaux des effets de stress sur certaines qualités des viandes par espèce.

Porc

Chez le porc, beaucoup de recherches ont visé à identifier les différents paramètres modifiés en période pré-abattage à l'origine de réactions de stress, comme la privation alimentaire, la durée du transport et le mélange entre animaux. Par exemple, le mélange de porcs non-familiers pendant le transport et l'attente à l'abattoir peut stimuler l'expression de comportements agressifs. L'activité physique et les réactions physiologiques dues aux combats peuvent avoir un impact considérable sur les qualités des viandes, pouvant expliquer plus de 40% de la variabilité du pH ultime (Foury et al., 2011 ; Terlouw et al., 2005). Sur le plan physiologique, une fréquence cardiaque ou des taux de catécholamines élevés au cours de l'abattage peuvent être associés respectivement à une diminution du pH *p.m.* plus rapide et à un pH ultime plus élevé (Terlouw et Rybarczyk, 2008 ; Foury et al., 2005 ; 2011).

Plus récemment, différentes études ont abordé les différences entre les animaux dans leurs réactions aux facteurs de stress. Les premiers travaux ont mis en évidence une cohérence entre les réactions au stress mesurées pendant des tests réalisés au cours de l'élevage et celles recueillies pendant la période d'abattage. Par exemple, des études montrent que les porcs qui ont moins tendance à s'approcher de l'Homme pendant un test de docilité, sont plus réactifs à l'abattage, comme indiqué par un métabolisme musculaire *p.m.* plus rapide (Terlouw et al., 2005 ; Terlouw et Rybarczyk, 2008). De même, les porcs qui exploraient plus longtemps un objet non familier pendant un test de nouveauté, s'engageaient dans plus de combats lorsqu'ils étaient mélangés avec d'autres porcs pendant la période d'abattage. Par conséquent, leurs viandes présentent un pH ultime plus élevé. La réactivité au stress mesurée en élevage pouvait expliquer jusqu'à 70% de la variabilité dans le pH ultime et la couleur des viandes (Terlouw et al., 2005 ; Terlouw et Rybarczyk, 2008).

Ces dernières années, des travaux se sont intéressés aux facteurs d'élevage qui peuvent influencer la réactivité au stress et par conséquent la qualité des viandes (Lebret, 2008). Une étude comparant l'influence de deux modes d'élevage (alternatif sur litière et courette extérieure : 2,3m²/porc versus conventionnel sur caillebotis : 0,65 m²/porc) montre que le milieu enrichi accroît l'activité d'investigation des animaux en élevage, mais ne modifie pas leur réactions comportementales et physiologiques (niveaux plasmatiques d'ACTH, cortisol et créatine-kinase) lors d'un abattage effectué sous des conditions de stress limité (Lebret et al., 2006 ; Meunier-Salaün et al., 2006). Ainsi, l'expérience antérieure des porcs n'influence pas forcément leur réactivité au stress pré-abattage et leur métabolisme musculaire *p.m.* La réactivité des animaux au changement d'environnement en période pré-abattage pouvant dépendre du génotype, une étude similaire a été réalisée chez des porcs croisés Duroc et d'autres de lignée synthétique (P76, Pen Ar Lan). Les interactions entre le génotype et le mode d'élevage sur les réactions physiologiques de stress indiquent que les deux types de croisements présentent une réponse similaire au stress pré-abattage qui ne dépend pas du mode d'élevage (Lebret et al., 2011). Cependant, lorsque les conditions pré-abattage provoquent un stress important, les réponses physiologiques et comportementales des animaux peuvent varier selon leur vécu. Terlouw et al. (2009) ont évalué l'influence du mode d'élevage (conditions extensives vs. conventionnelles) sur le comportement lors d'un mélange avec des porcs non familiers au cours de la période pré-abattage. Le mélange suscite moins de combats chez les porcs élevés en extérieur, conduisant à moins de lésions corporelles, une teneur en glycogène musculaire au moment de l'abattage supérieure et par conséquent un pH ultime de la viande plus bas comparativement aux porcs conventionnels. Des résultats similaires ont été rapportés par Barton-Gade (2008), suggérant que le mélange est plus stressant pour les porcs conventionnels.

Le niveau de combat lors du mélange d'animaux pourrait également être influencé par les hormones sexuelles. La production de mâles entiers est bénéfique en termes de bien-être et de coûts de production (efficacité alimentaire supérieure et adiposité réduite relativement aux castrés). En revanche, les viandes des mâles entiers peuvent présenter des problèmes d'odeurs. En outre, les mâles entiers peuvent être plus agressifs en élevage, y compris vis-à-vis de l'éleveur, et à l'abattage. Actuellement, la castration chirurgicale pratiquée pour limiter ces risques est remise en cause en raison de son atteinte au bien-être animal et des techniques d'immunocastration ont été développées. Un travail récent a évalué l'effet de l'immunocastration et de la non-castration sur la qualité de la viande en fonction du mélange ou non avec des animaux non familiers en comparant 3 types sexuels : entier, immunocastré ou castré. Le mélange a favorisé les comportements agonistiques des animaux mais de manière équivalente entre les 3 types sexuels. Ainsi, que les porcs soient entiers ou immunocastrés, ils n'exprimaient pas plus de comportements agressifs pendant la période d'abattage que les porcs castrés et les qualités de leurs viandes étaient similaires (Lebret et al., 2012).

D'autres aspects peuvent influencer la réactivité au stress, comme le vécu ou le patrimoine génétique. Des porcs qui ont eu des contacts positifs répétés avec l'éleveur s'approchent plus facilement d'autres personnes y compris non familières (Terlouw et Porcher, 2005). En revanche, les porcs ayant eu des contacts négatifs avec un expérimentateur présentent des réserves en glycogène musculaire amoindries si cette personne les conduit pendant la période d'abattage (Terlouw et al., 2005). De même, comparés aux Large White, des porcs Duroc étaient plus actifs et s'approchaient plus facilement de l'Homme. A l'abattage, plus le porc était réactif à l'Homme, plus la diminution du pH *p.m.* était rapide, quelle que soit la race. En revanche, à la différence des Large White, le pH ultime des Duroc n'était pas influencé par les conditions d'abattage (Terlouw et Rybarczyk, 2008). Le rôle important des caractéristiques des muscles est également illustré par les porcs porteurs d'un ou deux allèles de la sensibilité à l'halothane (n) dont les effets sur les réactions au stress et les qualités des viandes sont bien connus. Ils sont liés à une aberration métabolique et non pas à la façon dont les porcs évaluent leur environnement en termes de stress (Cheah et Cheah, 1981 ; Terlouw et al., 2001).

En résumé, chez le porc, les réactions de stress à l'abattage sont en partie prévisibles en fonction de leur réactivité à d'autres situations de stress. Les différences de réactivité aux stress d'abattage entre animaux, qui dépendent de leur vécu et de leur patrimoine génétique, expliquent une part importante des variations de qualité de viande. En parallèle, les caractéristiques des muscles peuvent atténuer ou augmenter ces effets.

Bovins

Chez les bovins, il est bien établi que certaines conditions d'abattage, telles que le mélange d'animaux ou le transport de longue durée, augmentent le risque de production de viandes à pH ultime élevé (Terlouw et al., 2008). En revanche, contrairement au porc, le lien entre les réactions de stress juste avant la mise à mort de l'animal et la vitesse de diminution du pH *p.m.* sont des découvertes récentes. Ainsi, chez des vaches (Bourguet et al., 2010) et chez des taurillons (Terlouw et al., 2012), plus la fréquence cardiaque était élevée durant les minutes qui précèdent l'abattage, plus la diminution du pH musculaire était rapide.

D'autres résultats récents¹ indiquent que le stress avant l'abattage pourrait également influencer la tendreté de la viande. Une expérience sur des vaches Normandes a comparé deux modalités d'abattage : « stress minimisé » (7 minutes de transport en compagnie d'une congénère, abattage immédiat) et « stress ajouté » comprenant à la fois des efforts physiques (20 min transport, 28 minutes de marche forcée) et des stress émotionnels (isolement, environnements nouveaux, contention, présence de personnes bruyantes). Les vaches du premier groupe avaient en moyenne une viande (muscle *Longissimus thoracis* ; LT) plus tendre que celles du deuxième groupe². Avant l'abattage, les vaches avaient été caractérisées en termes de réactivité à l'Homme et de séparation d'avec leurs congénères. Dans le groupe « stress ajouté », les vaches qui s'immobilisaient plus longtemps en présence d'un soigneur passif placé au milieu du parc expérimental et qui passaient plus de temps à flairer la grille derrière laquelle se trouvaient les congénères, présentaient une viande plus dure (Fig. 1). Ces résultats suggèrent que, lorsqu'elles sont abattues en conditions de stress, les vaches plus réactives à l'Homme et à l'éloignement des congénères sont également plus stressées pendant l'abattage et présentent un risque supérieur de détérioration de la tendreté de la viande.

Note de tendreté mesurée

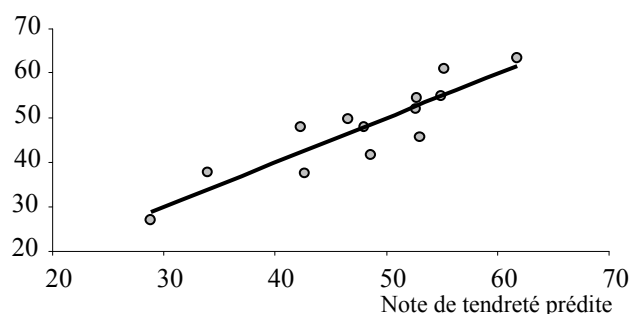


Fig. 1. Corrélation ($r=0,88$; $p=0,0002$) entre la note de tendreté calculée par l'algorithme $\text{Intensité tendreté} = 88,6 - 1,5 * \% \text{ du temps « immobile en présence du soigneur »} - 0,38 * \% \text{ du temps « flairage de la grille »}$ et la note mesurée chez les vaches Normandes abattues dans des conditions de « stress ajouté ». Les différences comportementales expliquent 77,4% de la variabilité de tendreté du muscle *Longissimus thoracis* entre les animaux

Afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans les effets du stress sur la tendreté, des mesures d'indicateurs de l'état physiologique à l'abattage des vaches ont été réalisées. L'évolution de la température et du pH musculaires a été mesurée à différents moments *p.m.* et des analyses transcriptomiques ont été réalisées à l'aide de la puce GENOTEND, contenant 13.286 sondes pour 3058 gènes (Cassar-Malek et al., 2011). Dans le groupe « stress ajouté », la température du muscle *p.m.* était négativement corrélée avec la tendreté³ mais les indicateurs de stress ou l'évolution du pH ne l'étaient pas. Dans ce groupe, l'expression de 11 % des gènes étudiés était corrélée avec la tendreté (dont 98% de corrélations positives) : 30,3% des transcrits étaient liés au métabolisme primaire, et 13,5% au métabolisme énergétique. La classe des protéines la plus représentée (19,6%) était les oxydoréductases et 60% des gènes étaient liés aux mitochondries. L'expression de 90% des gènes corrélés avec la tendreté était négativement corrélée avec la température pendant la période de 2 à 3h *p.m.*⁴

ou de 11 à 18h *p.m.*⁵ Ces résultats indiquent que l'association entre efforts physiques et stress émotionnel peut avoir un effet négatif sur la tendreté de la viande et ce d'autant plus que le métabolisme oxydatif est activé. La température plus élevée du muscle *p.m.* peut avoir un effet direct sur les processus impliqués dans la tendreté, ou juste refléter l'accélération du métabolisme oxydatif. Des différences de composition de muscle (types métaboliques) n'expliquent pas les liens entre métabolisme oxydatif et tendreté : il n'y avait pas de corrélations entre les activités enzymatiques et la tendreté⁶. Dans le groupe « stress minimisé », moins de 4% des transcrits étaient corrélés avec la tendreté, suggérant que lorsque le niveau de stress à l'abattage est limité, la tendreté est liée à d'autres facteurs que l'expression des gènes étudiés. Le mécanisme biochimique n'est pas encore connu mais il pourrait être lié à l'activité du système nerveux autonome, reflétée par l'activité cardiaque. Comme indiqué, les vaches de ce groupe avaient en moyenne une meilleure note de tendreté que celles du groupe « stress ajouté ». Si leur fréquence cardiaque était relativement faible pendant la période pré-abattage, leur viande (LT) était d'autant plus tendre (Fig. 2A). Ces résultats sont cohérents avec ceux

¹ Les résultats de cette étude sont très récents et ne sont pas encore publiés

² Analyses sensorielles : notes de 0 à 100 de la plus dure à la plus tendre : $54,3 \pm 3,3$ vs $45,6 \pm 2,7$; $p=0,05$

³ 90-120 min : $r=-0,69$; $p=0,04$; 120-150 min : $r=-0,66$; $p=0,04$

⁴ Acotinase, isocitrate déshydrogénase, NADH déshydrogénase et ATP synthase sont des exemples

⁵ pyruvate déshydrogénase, ATP synthase et oxystérol binding protein sont des exemples

⁶ Enzymes étudiées : Cox, LDH, ICDH, PFK : $r<0,38$

obtenus chez des taurillons de différentes races, abattus dans des conditions de stress limité¹. Une viande plus tendre était obtenue chez les taurillons ayant présenté une fréquence cardiaque moins élevée que leurs congénères lors d'un test de stress émotionnel en élevage (Fig. 2B). Le système nerveux autonome influence le fonctionnement de l'ensemble des organes, y compris les muscles, à travers l'action de l'adrénaline, de la noradrénaline et de l'acétylcholine, mais les liens avec la tendreté de la viande restent à élucider. Dans ces études, aucune relation entre la tendreté et l'évolution du pH *p.m.* n'a été observée, alors que d'autres travaux suggèrent que des liens complexes pourraient exister entre ces paramètres chez les bovins (Boudjellal et al., 2008).

En général, les résultats montrent que comme chez le porc, les réactions de stress à l'abattage chez le bovin sont en partie prévisibles en fonction de leur réactivité à d'autres situations de stress, ces réactions pouvant influencer l'évolution *p.m.* du pH. A l'heure actuelle nous manquons de connaissances sur les liens entre l'évolution du pH et la tendreté, potentiellement parce que les mécanismes sous-jacents varient en fonction de l'état physiologique de l'animal. Une meilleure compréhension des effets du stress à l'abattage sur ces mécanismes permettra une meilleure maîtrise de la tendreté de la viande de bœuf.

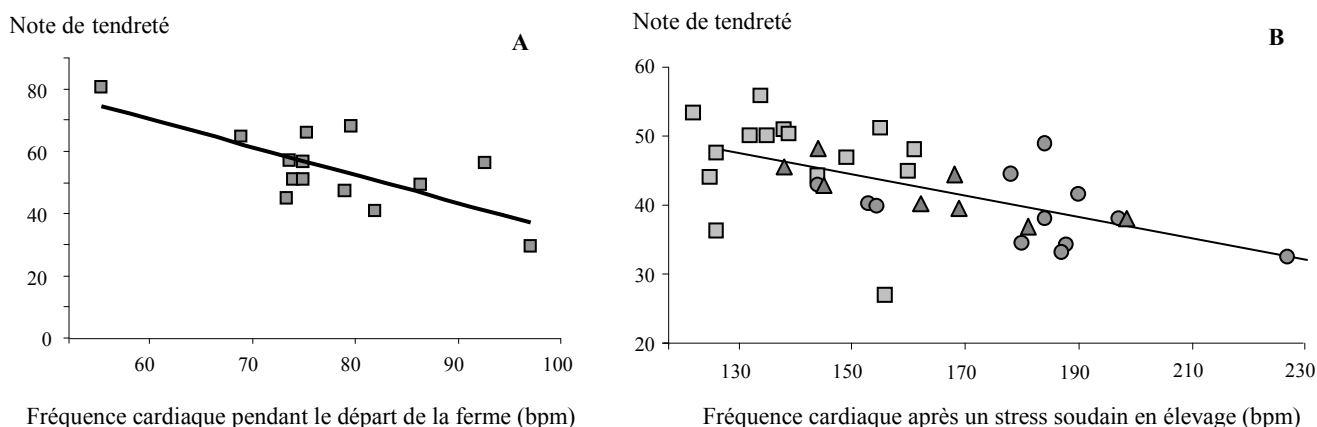


Figure 2. Liens entre la note de tendreté (abattage en conditions de « stress minimisé») et la fréquence cardiaque (2A) pendant les manipulations juste avant le départ de la ferme (vaches Normandes ; $r=-0,71$; $p=0,004$) et (2B) en réaction à un événement soudain pendant un test en élevage (taurillons de race Angus (carrés), Blond d'Aquitaine (cercles) et Limousine (triangles) ; $r=-0,59$; $p=0,01$). Ces différences dans la réactivité cardiaque expliquent 50,4% (vaches) et 35,8% (taurillons) de la variabilité de tendreté entre les animaux.

Ovins

Chez les ovins, la mise à jeun, les manipulations, le chargement et le déchargement du camion, le confinement, les perturbations sociales durant le transport et à l'abattoir sont des sources de stress qui peuvent détériorer les qualités des viandes (Terlouw et al., 2008). Plusieurs études ont évalué l'influence des différents paramètres potentiellement stressants du transport sur les réactions des moutons et les qualités des viandes. Le type de conduite (notamment les accélérations, les virages pris en grande vitesse et les freinages), influence le comportement des ovins. Une mauvaise conduite a un effet restreint sur les pertes d'équilibre mais limite la possibilité pour les ovins de se reposer (Cockram et al., 2004). Les transports d'agneaux sur des routes secondaires ou non goudronnées sont associés à des augmentations plus prononcées du cortisol et de la fréquence cardiaque ainsi qu'à des pH ultimes plus élevés et des viandes plus rouges ou plus sombres (Ruiz-de-la-Torre et al 2001 ; Miranda-de la Lama et al., 2011). La durée du transport est également impliquée. Comparés à des témoins non transportés ou transportés pendant seulement 1h, des agneaux transportés pendant 8 ou 24h produisent des viandes plus dures et plus rouges ou plus sombres (Zhong et al 2011 ; Dalmau et al., 2012). Par ailleurs, les déplacements et les manipulations des ovins peuvent provoquer des ecchymoses sur la carcasse. Les causes principales de ces meurtrissures sont les chevauchements par des moutons situés à l'arrière du lot et qui tentent de s'éloigner des manipulateurs, les glissades et la préhension de la laine par les manipulateurs (Jarvis and Cockram, 1995). Le passage par un marché avant l'abattoir augmente les manipulations et par conséquent le risque de meurtrissures sur la carcasse (Jarvis et Cockram, 1994), mais les moutons arrivés directement de la ferme peuvent également présenter des pourcentages de meurtrissures élevés (Jarvis et Cockram, 1995).

Les ovins passent parfois par des centres de tri où ils peuvent séjourner quelques heures mais parfois plusieurs semaines jusqu'à ce qu'ils aient atteint le poids d'abattage. Au terme de cette étape, les agneaux expriment de nombreux comportements agressifs, ainsi que des mâchonnements et des frottements stéréotypés (Miranda-de la Lama et al., 2011b). La durée du séjour dans le centre de tri n'a pas d'effet notable sur le pH ultime, la flaveur, la jutosité ou la tendreté de la viande (Miranda-de la Lama et al., 2009 ; 2011).

Une période d'attente à l'abattoir peut permettre aux agneaux de se reposer après le transport si les conditions sont adaptées. Ainsi, des agneaux abattus immédiatement après leur arrivée à l'abattoir avaient des niveaux plasmatiques de cortisol, de glucose et de lactate plus élevés que ceux abattus 12h après le transport. Ces augmentations sont probablement liées au stress et à l'effort pendant le transport et l'abattage. En revanche, l'attente de 12h était associée à des niveaux plasmatiques d'acides gras libres et de créatine-kinase plus élevés, pouvant traduire les effets de la

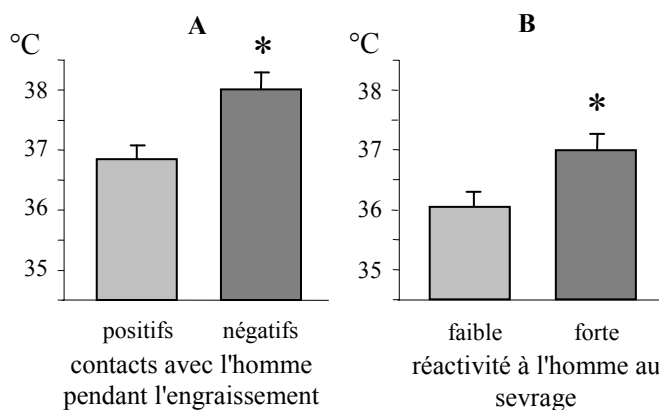


Fig. 3 Température du muscle semimembraneux 15 min *p.m.* en fonction (3A) du type de contacts subis après le sevrage jusqu'à l'abattage et (3B) de la réactivité à l'Homme au sevrage.

des contacts positifs avec l'Homme en engraissement avaient après abattage des températures musculaires plus basses et une diminution de pH plus lente, suggérant un niveau de stress plus bas avant l'abattage (Deiss et al., 2012 ; Fig. 3A).

Comme chez les bovins et les porcs, des études récentes ont montré que les ovins sont cohérents dans leur réactivité émotionnelle (Boissy et al. 2005 ; 2007) et que leurs réponses au stress pendant la période d'engraissement peuvent prédire leurs réactions à l'abattage. Par exemple, des agneaux plus vigilants lors d'une séparation sociale et d'une exposition à un environnement nouveau avaient un niveau de cortisol sanguin à l'abattage plus bas et un pH musculaire 3h *p.m.* plus élevé (Deiss et al. 2009). De même, au sein d'un lot d'agneaux, sans avoir subi un traitement particulier vis-à-vis l'Homme, certains d'entre eux étaient plus réactifs à la présence humaine. Après l'abattage, ces derniers avaient des températures musculaires plus élevées (Deiss et al., 2012 ; Fig. 3B).

Ces résultats montrent que les conditions de transport et d'attente à l'abattoir, ainsi que la qualité des manipulations peuvent avoir un impact significatif sur les qualités des carcasses et des viandes des ovins. Comme pour les porcs et les bovins, chez les ovins, la réactivité au stress de l'abattage est en partie prévisible en fonction des réactions à d'autres situations de stress et le vécu peut moduler cette réactivité.

Volaille

Chez la volaille, les principales causes de stress étudiées sont celles liées au transport, à l'attente à l'abattoir et à l'accrochage. Les effets de la privation alimentaire associée à l'ensemble de la période d'abattage ont également été étudiés. Concernant le transport, les facteurs de stress potentiels sont multiples, comme les vibrations, les mouvements du camion, les impacts, les perturbations sociales, le bruit et le stress thermique (Mitchell et Kettlewell, 2009). Parmi ceux-ci, le stress thermique est considéré comme le plus important. Une étude a montré que la mortalité est fonction de la durée et surtout de la température pendant le transport, avec une température optimale entre 10 et 15 °C (Nijdam et al., 2004). L'attente des animaux à l'abattoir dans des conditions de températures élevées provoque une augmentation du niveau de cortisol (Debut et al., 2005). L'humidité de l'air influence également le stress provoqué par des températures basses ou élevées (Mitchell et Kettlewell, 1998).

La privation alimentaire et les conditions de transport peuvent influencer les qualités des viandes. La privation alimentaire peut diminuer les teneurs en glycogène et influencer le pH, mais les résultats varient selon les muscles et les études. Chez le poulet, une privation de 10 ou 12h diminuait les teneurs en glycogène et augmentait le pH ultime du *biceps* sans effet sur le *pectoralis* (Warriss et al., 1988 ; 1993). Par contre, une privation jusqu'à 36h n'avait aucun effet sur le pH ultime, mais accélérail la diminution du pH (Kotula et Wang, 1994). Les effets du transport sur les qualités des viandes dépendent également du muscle. Ainsi, un transport de 6h a augmenté le pH ultime du *biceps* et diminué celui du *pectoralis* (Warriss et al., 1993). Ces oppositions s'expliquent en partie par des différences dans les caractéristiques métaboliques de ces muscles et dans leur utilisation pendant le transport : le *biceps* est moins riche en glycogène et probablement plus sollicité pendant le transport afin de maintenir l'équilibre (Warriss et al., 1993).

D'autres études ont abordé les effets du stress thermique à l'abattoir sur les qualités des viandes. L'exposition de poulets à des températures de plus de 30°C avant l'abattage peut augmenter (Aksit et al., 2006) ou diminuer (Debut et al., 2003 ; Berri et al., 2005 ; Schneider et al., 2012) le pH ultime des muscles pectoraux ou des cuisses. L'exposition à des températures en dessous de 0°C avant l'abattage diminuait les teneurs en glycogène des pectoraux de manière plus prononcée dans les cuisses et augmentait la proportion de viandes à coupe sombre (Dadgar et al., 2011 ; 2012). Lorsqu'on a ajouté aux températures basses une période d'attente à l'abattoir de 2h, la production de viandes à coupe sombre était encore plus fréquente (Dadgar et al., 2012).

L'accrochage est considéré comme source de douleur et de peur (Gentle et Tilston, 2000 ; Kannan et al., 1997). Plus la durée d'accrochage augmentait, plus il était facile d'induire, chez les oiseaux, des réactions d'immobilité tonique, indicateur de peur (Bedanova et al., 2007). La durée de l'accrochage était également positivement corrélée avec les niveaux plasmatiques de corticostérone, de glucose et de lactate (Kannan et al., 1997 ; Debut et al., 2005 ; Bedanova et

privation alimentaire et de la fatigue musculaire (Liste et al., 2011). Les manipulations à l'abattoir peuvent aussi être sources de stress émotionnel. L'utilisation d'un chien, des contacts directs avec le bouvier (touchés, poussés) ou d'utilisation d'un sifflet pour déplacer les animaux étaient corrélées positivement avec le niveau de cortisol plasmatique (Hemsworth et al., 2011). Ces procédures pourraient avoir un impact sur les qualités des viandes car une augmentation du niveau de cortisol sanguin mesuré à la saignée était associée à un pH 3h *p.m.* plus bas (Deiss et al. 2009). De même, des agneaux abattus en présence d'hommes ayant un comportement calme avaient des températures musculaires *p.m.* plus basses que ceux abattus en présence d'hommes brusques (Deiss et al., 2012). Comme chez le porc, la réactivité au stress à l'abattage dépend en partie du vécu des agneaux. Ainsi, des agneaux exposés à

al., 2007). L'accrochage provoque des vocalisations et des battements d'ailes qui peuvent induire des blessures et des fractures des ailes (Gregory et Wilkins 1989 ; Debut et al., 2005). Ces réactions peuvent influencer les qualités des viandes chez les poulets et les dindes, notamment des filets. Ainsi, chez des dindes et des poulets de souches label ou standard, la durée des battements d'ailes élevée était associée à une diminution plus rapide du pH (Berri et al., 2005 ; Papinaho et al., 1995). Chez le poulet, la couleur rouge du *pectoralis* augmentait avec la durée d'accrochage (Schneider et al., 2012 ; Berri et al., 2005). Chez les dindes, la luminosité de ce muscle était plus basse lorsque celles-ci se débattaient davantage pendant l'accrochage (Ngoka et Froning, 1982).

Comme chez les mammifères, on a observé chez la volaille une constance dans les réactions de stress à différentes situations. Une partie de la réactivité est liée au patrimoine génétique : la lignée « label rouge » est plus réactive à l'accrochage (Debut et al., 2005) ce qui explique en partie leurs viandes plus rouges comparativement à des lignées standards (Berri et al., 2005). Pour l'heure, il n'y a cependant pas encore d'indicateurs permettant de prédire la réactivité des oiseaux à l'accrochage. Par exemple, la note d'immobilité tonique établie pour chaque animal une semaine avant l'abattage n'était pas corrélée aux réactions à l'accrochage (Debut et al., 2003). L'utilisation de crochets flexibles et d'un tapis roulant sur lequel reposent les volatiles jusqu'à l'arrivée dans le bain d'électronarcose peut réduire les douleurs et le stress associés à cette procédure (Lines et al 2012).

Ces résultats montrent que pour la volaille, pendant le transport et à l'abattage, les sources de stress sont d'origine physique, en particulier le stress thermique, la privation alimentaire et l'accrochage, et émotionnelle. Les réactions physiologiques et comportementales à ces facteurs de stress peuvent avoir un impact important sur les qualités des viandes.

Poissons

Confrontés à des situations supposées stressantes, les poissons ont des réponses similaires aux mammifères, comme des réponses de fuite et des élévations de teneur en cortisol plasmatique. Toutefois, les poissons ne possèdent qu'une petite partie des structures cérébrales classiquement impliquées dans l'expérience des émotions chez les mammifères (Huntingford et al., 2006 ; Sneddon, 2009). Par conséquent, la capacité des poissons à ressentir des émotions est sujette au débat. Ces auteurs indiquent que les structures cérébrales des poissons pourraient leur permettre de ressentir des émotions négatives, mais probablement différemment par rapport au ressenti humain (Ashley, 2006).

Les sources de stress liées à l'abattage varient selon les espèces et les structures d'élevage (Terlouw et al., 2008). Les causes de stress avant l'abattage sont liées au regroupement aux conditions de transport et d'attente (durées, densité des poissons et qualité de l'eau), et à l'extraction des poissons de leur environnement aquatique pour l'étourdissement ou la mise à mort. Il existe différentes méthodes d'étourdissement et de mise à mort : la percussion, l'anesthésie gazeuse par CO₂, l'électrocution, le refroidissement, le "spiking" (perforation du cerveau) et, plus rarement car considérée comme non respectueuse du bien-être animal (Van de Vis et al., 2003), l'asphyxie. Ces méthodes influencent également l'état de stress. Les réactions physiologiques et l'activité musculaire associées au stress influencent les évolutions dans le muscle *p.m.*, comme la diminution du pH et le délai d'installation de la *rigor mortis*. Par exemple, chez des saumons, plus le transport vers l'abattoir était long, plus le pH initial était bas (Gatica et al., 2008). De même, des saumons et des truites soumis à un effort physique avant l'abattage présentaient une diminution du pH et une installation de la *rigor mortis* plus rapides que des témoins (Thomas et al., 1999 ; Erikson et Misimi, 2008). Une accélération des évolutions dans le muscle *p.m.* après un abattage stressant a été observée chez la plupart des espèces étudiées (Marx et al., 1997 ; Morzel et al., 2003 ; Lefèvre et al., 2008a). Les conditions d'abattage peuvent influencer le pH ultime. L'augmentation de la densité des saumons 24h avant l'abattage était associée à une baisse de glycogène et un pH plus élevé 5 et 14 jours après l'abattage (Skjervold et al., 2001).

Les conditions d'abattage peuvent également influencer la couleur. Cet effet peut être visible sur les filets des espèces à chair pigmentée, comme les salmonidés, mais aussi sur la peau des poissons entiers. L'effet sur la couleur des filets est le plus souvent négatif (chair moins lumineuse et moins colorée, Lefèvre et al., 2008a). Parfois, les changements de couleur sont directement liés à la méthode d'abattage qui peut gêner l'efficacité de la saignée (CO₂, électricité) (Kiessling et al., 2004).

Le stress avant l'abattage peut aussi influencer la texture. Des saumons anesthésiés au CO₂ avaient une texture moins ferme que des témoins anesthésiés à l'iso-eugénol (Kiessling et al., 2004). Cet effet pourrait être lié à des altérations des structures musculaires, en particulier de la jonction myotendineuse (Bahuaud et al., 2010), en lien avec une augmentation de certaines activités protéolytiques. Des études protéomiques ont révélé que des protéines de structure⁷ et des enzymes métaboliques étaient affectées (Morzel et al., 2006 ; Veiseth-Kent et al., 2010) et pouvaient expliquer l'altération qualitative de la chair. De même, l'hypoxie avant l'abattage a provoqué une augmentation de la perte en eau chez des morues (Bjornevik et Solbakken, 2010). Des carpes, des anguilles et des truites anesthésiées au CO₂ avaient de moins bonnes notes sensorielles que des témoins abattus par percussion (Marx et al., 1997). Toutefois, les effets sur le pH ou les caractéristiques sensorielles peuvent disparaître 8 ou 14 jours *p.m.* (Skjervold et al., 2001 ; Bjornevik et Solbakken, 2010).

Très peu d'études se sont intéressées aux liens potentiels entre la réactivité au stress des poissons en élevage, leurs réactions au stress à l'abattage et la qualité des produits. La composante génétique dans la réactivité au stress émotionnel a été démontrée grâce à la sélection de lignées divergentes de truites pour leur réponse en cortisol

⁷ myosine, actine, tropomyosine, desmine, cap Z

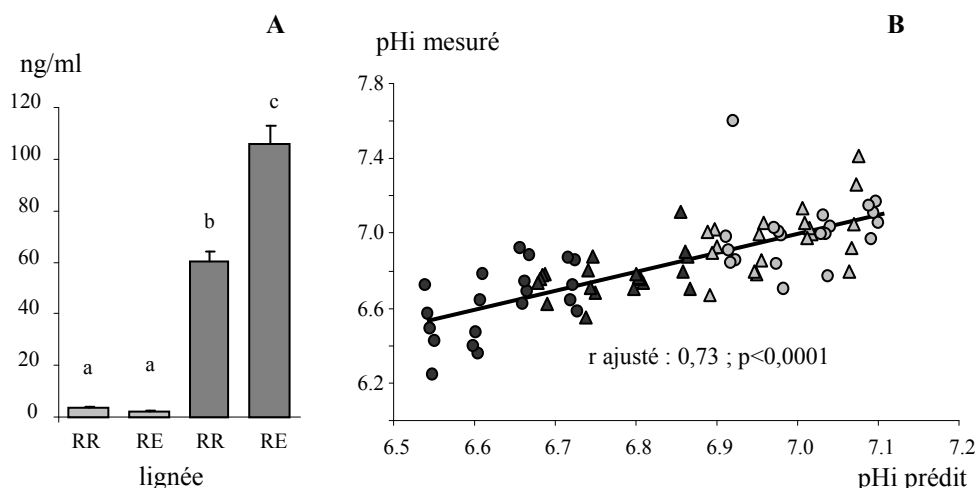


Fig. 4. Taux de cortisol plasmatique à l'abattage (4A) et corrélation entre le pH initial calculé ($pHi = 6,8 - 0,000,3 * \text{ordre abattage} + 0,4 * NS - 0,05 * RE + 0,1 * RE * SS$) et mesuré (4B). Légende : Abattage sans (gris clair ; NS) ou avec (gris sombre ; SS) un stress supplémentaire. Lignées de réactivité au stress élevée (RE, triangles) ou réduite (RR, cercles). a, b, c : $p < 0,0001$.

plasmatique suite à un stress émotionnel aigu de confinement (Lefèvre et al., 2008b). L'application d'un stress supplémentaire à l'abattage a induit une augmentation du taux de cortisol plasmatique significativement plus prononcée pour la lignée plus réactive (Fig. 4A). Le pH initial était plus bas chez le groupe soumis au stress supplémentaire par rapport au groupe des témoins. Toutefois, l'effet du stress sur le pH était moins prononcé chez la lignée plus réactive (Fig. 4B) (Lefèvre et al., 2008b) peut-être à cause d'un facteur limitant tel qu'une moindre réserve en glycogène musculaire due aux réactions de stress pendant l'élevage ou au cours de l'abattage.

En conclusion, à l'heure actuelle, les études réalisées sur les questions de stress à l'abattage et qualité de la chair concernent surtout les facteurs de stress liés aux contraintes physiques imposées par l'abattage, telles que la qualité de l'eau ou l'activité physique due aux manipulations. Les résultats montrent que le stress au moment de l'abattage peut avoir des effets significatifs sur les qualités technologiques et sensorielles qui semblent principalement dus à des modifications des processus d'évolution dans le muscle *p.m.*

Conclusions

Nos connaissances actuelles ont permis de limiter la production de viandes de types PSE et DFD dans les différentes espèces. Même s'il y a encore des progrès à faire pour limiter les défauts majeurs des qualités des produits, un enjeu important des recherches d'aujourd'hui est de mieux connaître les mécanismes impliqués dans les effets du stress sur les qualités des viandes afin de mieux les maîtriser. Si les causes de stress à l'abattage varient en fonction de l'espèce, toutes celles considérées ici sont sensibles au stress à l'abattage avec un impact significatif sur les qualités des viandes. Les mécanismes impliqués dans les effets du stress montrent des similitudes, notamment relatives aux effets sur le métabolisme énergétique *p.m.* et par ce biais, sur la couleur. Toutefois, la problématique doit être étudiée par espèce. D'une part, comme indiqué ci-dessus, les sources de stress à l'abattage diffèrent selon les espèces. D'autre part, les critères pour une qualité de produit optimale varient selon l'espèce. Enfin, les mécanismes moléculaires impliqués dans le déterminisme des qualités sensorielles diffèrent, au moins en partie, selon les espèces.

Les conditions d'abattage doivent être adaptées au mieux à chaque espèce, voire race ou souche, en tenant compte du mode d'élevage, non seulement pour optimiser les qualités des produits mais aussi pour respecter le bien-être des animaux. Des études visant à mieux comprendre la réactivité au stress des animaux doivent être poursuivies pour atteindre cet objectif.

Ashley, P. J. 2007. Appl. Anim. Behav. Sci., 104, 199-235.

Aksit M., Yalcin S., Ozkan S., Metin K., Ozdemir D. 2006. Poult. Sci., 85, 1867-1874.

Bahuaud D., Morkore T., Ostbye T.K., Veiseth-Kent E., Thomassen M.S., Ofstad R. 2010. Food Chem., 118, 602-615.

Barton-Gade P.A. 2008. Animal, 2, 902-911.

Bedanova I., Voslarova E., Chloupek P., Pistekova V., Suchy P., Blahova J., Dobsikova R., Vecerek V. 2007. Poult. Sci., 86, 1065-1069.

Berri C., Debut M., Sante-Lhoutellier V., Arnould C., Boutten B., Sellier N., Baeza E., Jehl N., Jégo Y., Duclos M. J., Le Bihan-Duval E. 2005. Br. Poult. Sci., 46, 572-579.

Bjørnevik M., Solbakken V. 2010. Aquacult. Res., 41, e467-e474.

Boudjellal A., Becila S., Coulis G., Herrera-Mendez C.H., Aubry L., Lepetit J., Harhoura K., Sentandreu M.A., Aït-Amar H., Ouali A. 2008. Afr. J. Agric. Res., 3, 195-204.

Boissy A., Ligout S., Foulquié D., Gautier A., Moréno C., Delval E., François D., Bouix J. 2007. 3R, 14, 301-304.

Boissy A., Bouix J., Orgeur P., Poindron P., Bibé B., Le Neindre P. 2005. Genet. Sel. Evol. 37, 381-401.

Bourguet C., Deiss V., Gobert M., Durand D., Boissy A., Terlouw E. M. C. 2010. Appl. Anim. Behav. Sci., 125, 9-21.

Cassar-Malek I., De La Foye A., Cherfaoui M., Jurie C., Terlouw C., Durand D., Hocquette J.F. 2011. 3R, 18, 205.

Cheah K.S., Cheah A.M. 1981. Biochim. Biophys. Acta, 634, 70-84.

Dadgar E.S., Lee T.L., Leer V., Crowe T.G., Classen H.L., Shand P.J. 2011. Poult. Sci., 90, 444-457.

Dadgar S., Crowe T.G., Classen H.L., Watts J.M., Shand P.J. 2012. Poult. Sci., 91, 1454-1464.

Dalmau A., Di Nardo A., Realini C.E., Temple D., Llonch P., Velarde A., Rodriguez P., Messori S., Dalla Villa P., 2012. Anim. Welf., 21, 159.

- Debut M., Berri C., Arnould C., Guemené D., Santé-Lhoutellier V., Sellier N., Baéza E., Jehl N., Jégo Y., Beaumont C. Le Bihan-Duval E. 2005. *Brit. Poult. Sci.*, 46, 527-535.
- Debut M., Berri C., Baeza E., Sellier N., Arnould C., Guemene D., Jehl N., Boutten B., Jégo Y., Beaumont C., Le Bihan-Duval E. 2003. *Poult. Sci.*, 82, 1829-1838.
- Deiss V., Bourguet C., Fassier T., Lullier M., Terlouw E.M.C., Boissy A. 2012. *Anim. Welf.*, 21, 153.
- Deiss V., Temple D., Ligout S., Racine C., Bouix J., Terlouw C., Boissy A. 2009. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 119, 193-202.
- Erikson, U., Misimi, E. 2008. *J. Food Sci.*, 73, C50-59.
- Foury A., Devillers, N., Sanchez, M.-P., Griffon, H., Leroy, P., Mormede, P. 2005. *Meat Sci.*, 69, 703-707.
- Foury A., Lebret B., Chevillon P., Vautier A., Terlouw C., Mormède P. 2011. *Animal*, 5, 1620-1625.
- Froning G.W., Babji A.S., Mather F.B. 1978. *Poult. Sci.*, 57, 630-633.
- Gentle M.J., Tilston V.L., 2000. *Anim. Welf.*, 9, 227-236.
- Gatica, M. C., Monti, G., Gallo, C., Knowles, T. G., Warriss, P. D. 2008. *Vet. Rec.*, 163, 111-116.
- Gregory N.G., Wilkins L.J., 1989. *Br. Poult. Sci.*, 30, 555-562.
- Huntingford F.A., Adams C., Braithwaite V.A., Kadri S., Pottinger T.G., Sandøe P., Turnbull J.F. 2006. *J. Fish Biol.* 68, 332-372.
- Jarvis A.M., Cockram, M.S. 1994. *Vet. Rec.* 135, 523-527.
- Jarvis A.M., Cockram, M.S.; 1995. *Vet. Rec.*, 10, 582-585.
- Gregory N.G., Wilkins L.J., 1989. *Brit. Poult. Sci.*, 30, 555-562.
- Hemsworth P.H., Rice M., Karlen M.G., Calleja L., Barnett J.L., Nash J., Coleman, G.J. 2011. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 135, 24-33.
- Jeleníková J., Pipek P., Miyahara M. 2008. *Europ. Food Res. Techn.*, 227; 989-994.
- Kannan G., Heath J.L., Wabeck C.J., Mench, J.A., 1997. *Brit. Poult. Sci.*, 38, 323-332.
- Kiessling A., Espe M., Ruohonen K., Morkore T., 2004. *Aquaculture* 236, 645-657.
- Kotula, K.L., Wang Y. 1994. *J. Appl. Poultry Res.*, 3, 103-110
- Lambooij E., Gerritzen M.A., Engel B., Hillebrand S.J.W., Lankhaar J., Pieterse C., 1999. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 62, 255-265.
- Le Bihan-Duval E., Debut M., Berri C.M., Sellier N., Sante-Lhoutellier V., Jégo Y., Beaumont C. 2008. *BMC Genet.* 9, 53-59.
- Lebret B., Meunier-Salaün M.C., Foury A., Mormède P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006. *J. Anim. Sci.*, 84, 2436-2447.
- Lebret B. 2008. *Animal*, 2, 1548-1558.
- Lebret B., Prunier A., Bonhomme N., Foury A., Mormède P., Dourmad J.Y. 2011. *Meat Sci.*, 88, 14-22.
- Lebret, B., Delgado-Andrade, C., Claude, S., Prunier, A. 2012. *Journées Rech. Porcine*, 44, 49-50.
- Lefèvre F., Bugeon J., Auperin B., Aubin J. 2008a. *Aquaculture*, 284, 81-89.
- Lefèvre F., Cos I., Pottinger T.G., Bugeon J. 2008b. *Viandes Prod. Carnés*, Hors-série: 177-178.
- Lines J.A., Berry P., Cook P., Schofield C.P., Knowles T.G., 2012. *Anim. Welf.*, 21, 69-74.
- Liste G., Miranda-de la Lama G.C., Campo M.M., Villarroel M., Muela E., María G.A. 2011. *Anim. Prod. Sci.* 51, 952-958
- Marx H., Brunner B., Weinzierl W., Hoffmann R., Stolle A. 1997. *Zeitschr. Lebensmittelunt. Forsch.* A204, 282-286.
- Meunier-Salaün M.C., Dourmad J.Y., Lebret B. 2006. *Journées Rech. Porcine*, 38, 417-422.
- Miranda-de la Lama G.C., Monge, P. Villarroel M., Olleta J.L. García-Belenguer S., María G.A. 2011a. *Trop. Anim. Health Prod.*, 43, 915-922.
- Miranda-De La Lama, G. C., Villarroel, M., Marã-a, G. A. 2011b. *Small Rumin. Res.*, 103, 158-163.
- Miranda-de la Lama G.C., Villarroel M., Olleta J.L., Alierta S., Sanudo C., María G.A. 2009. *Meat Sci.*, 83, 604-609.
- Mitchell M., Kettlewell P. 1998. *Poult. Sci.*, 77, 1803-1814;
- Mitchell M.A. Kettlewell P.J. 2009. *Poultry Welfare Symposium*, Cervia, Italy. 90-100
- Morzel M., Sohler D., De Vis H. 2003. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 19-28.
- Morzel M., Chambon C., Lefevre F., Paboeuf G., Laville E. 2006. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 2997-3001.
- Ngoka D.A., Froning G.W. 1982. *Poult. Sci.*, 61, 2291-2293.
- Nijdam E., Arens P., Lambooij E., Decuyper E., Stegeman J. 2004. *Poult Sci.* 83;1610-1615.
- Olsen S.H., Sørensen N.K., Larsen R., Elvevoll E.O., Nilsen H. 2008. *Aquaculture* 284, 90-97
- Poli B., Parisi G., Scappini F., Zampacavallo G. 2005. *Aquacult Int.*, 13, 29-49.
- Papinaho P.A., Fletcher D.L., Buhr R.J. 1995. *Poult. Sci.*, 74, 1533-1539.
- Ruiz-de-la-Torre J.L., Velarde A., Diestre A., Gispert M., Hall S.J.G., Broom D.M., Manteca X. 2001. *Vet. Rec.*, 148, 227-229.
- Schneider B.L., Renema R.A., Betti M., Carney V.L., Zuidhof, M.J. 2012. *Poult. Sci.*, 91, 468-477.
- Skjervold P.O., Fjæra S.O., Østby P.B., Einen O. 2001. *Aquaculture*, 192, 265-280.
- Sneddon, L. 2009. *ILAR J.*, 50, 343-360.
- Thomas P.M., N.W. Pankhurst, H.A Bremner. 1999. *J. Fish Biol.* 54, 1177-1196.
- Veiseth-Kent E., Grove H., Faergestad E.M., Fjaera S.O. 2010. *Aquaculture*, 309, 272-279.
- Van de Vis H., Kestin S., Robb D., Oehlenschläger J., Lambooij B., Munkner W., Kuhlmann H., Kloosterboer K., Tejada M., Huidobro A., Ottera H., Roth B., Sorensen N.K., Akse L., Byrne H., Nesvadba P. 2003. *Aquacult. Res.*, 34, 211-220.
- Vecerek V., Grbalova S., Voslarova E., Janackova B., Malena M. 2006. *Poult Sci.*, 85, 1881-1884.
- Voslarova E., Janackova B., Vitula F., Kozak A. Vecerek V. 2007. *Veterinari Medicina*, 52, 262-266
- Warriss P.D., Kestin S.C., Brown S.N., Knowles T.G., Wilkins L.J., Edwards J.E., Austin S.D., Nicol C.J. 1993. *Br. Vet. J.*, 149, 391-398.
- Warriss P.D., Kestin, S.C., Brown S.N., Bevis E.A. 1988. *Br. Poult. Sci.* 29:149-154.
- Terlouw C., Ludriks A., Schouten W., Vaessen S., Fernandez X., Andanson S., M.C., P. 2001. *Viandes Prod. Carnés*, 22, 1-10.
- Terlouw C., Berne A., Astruc T. 2009. *Livestock Science*, 122, 199-213.
- Terlouw E.M.C., Arnould C., Auperin B., Berri C., Le Bihan-Duval E., Deiss V., Lefèvre F., Lensink B.J., Mounier L., 2008. *Animal*, 2, 1501-1517.
- Terlouw E.M.C., Porcher J. 2005. *J. Anim. Sci.*, 83, 1653-1663.
- Terlouw E.M.C., Porcher J., Fernandez X. 2005. *J. Anim. Sci.*, 83, 1664-1672.
- Terlouw C. 2005. *Livest. Prod. Sci.*, 94, 125-135.
- Terlouw E.M.C., Rybarczyk P. 2008, *Meat Sci.*, 79, 795-805.
- Terlouw E.M.C., Bourguet C., Deiss V. 2012. *Anim. Welf.*, 21, 43-49.
- Zhong R.Z., Liu H.W., Zhou D.W., Sun H.X., Zhao C.S. 2011. *J. Anim. Sci.*, 89, 3742-3751.

OPTIMISER LE PH ULTIME DES FILETS DE POULET EN MODULANT LE PROFIL EN ACIDES AMINÉS DE L'ALIMENT EN FIN D'ELEVAGE

BERRI C.¹, GUARDIA S.², LESSIRE M.¹, TESSERAUD S.¹, METAYER-COUSTARD S.¹, BORDEAU T.¹, BOUVAREL I.²

¹INRA, UR 083, Unité de Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY

²ITAVI, Unité de Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY

Abstract: Optimizing ultimate pH of chicken breast meat by modulating the amino acid profile of the finishing diet

This study shows that by modifying the amino acid profile of the diet 3 days before slaughter, it is possible to change the ultimate pH and color of chicken breast fillet. A high lysine level, whatever the levels in other amino acids (ratio AA / Lys from 90 to 110%), maintained the ultimate pH level in muscle, whereas a lysine deficiency coupled to a high intake of other amino acids (ratio AA / Lys = 110%) favors low ultimate pH. These effects could be due to differential orientations of intermediary metabolism of animals, which may affect the glycogen content of muscle. This new nutritional concept is being tested under production conditions.

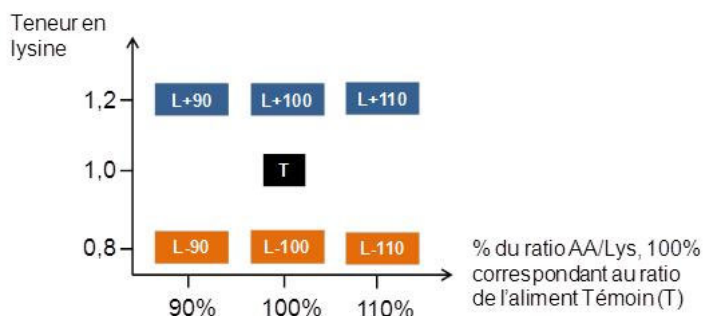
Introduction

Chez le poulet, le pH ultime constitue un élément clef dont dépend un grand nombre de caractéristiques technologiques et sensorielles de la viande (Gigaud et al., 2009). Il est en grande partie déterminé par la teneur en glycogène du muscle au moment de la mort des animaux (le Bihan-Duval et al., 2008). Des premiers résultats suggèrent la possibilité de moduler la quantité de glycogène musculaire et les caractéristiques de qualité associées en faisant varier l'apport en protéines ou en acides aminés de l'aliment (Berri et al., 2008 ; Jlali et al., 2012). L'objectif de cette étude était d'évaluer dans quelle mesure des stratégies alimentaires de court terme peuvent efficacement moduler le pH ultime du filet sans affecter significativement les performances de production des poulets.

Matériel et Méthodes

Les poulets étudiés (n=1140) étaient des mâles de souche Ross PM3. Ils ont été élevés en parquet de 3 m² à raison de 32 animaux par parquet. Ils ont tous reçu un même aliment démarrage (J0-J10), croissance (J10-J24) et finition (J24-J33). De J33 à J36, les animaux ont été répartis en 7 traitements à raison de 5 parquets par traitement et ont reçu soit l'aliment finition témoin soit un des aliments finition expérimentaux. Tous les aliments finition étaient isoénergétiques (3150 kcal/kg). Le ratio AA (acides aminés) / lysine de l'aliment témoin (T) est considéré comme étant égal à 100%. Les formules expérimentales présentaient des déséquilibres entre l'apport en lysine (acide aminé essentiel promoteur de la croissance musculaire) et l'apport en autres acides aminés selon le schéma de la Figure 1 (90% ou 100% ou 110%).

Figure 1 : Apport en lysine et en autres acides aminés des différents régimes distribués entre 33 et 36 jours. L+ et L- désignent respectivement les régimes carencé ou excédentaire en lysine / à l'apport recommandé. Les % indiquent le niveau d'apport en autres acides aminés / témoin (T).



Le poids vif, le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation des animaux et l'indice de consommation (IC) ont été déterminés à tous les changements d'aliment (sauf à 33 jours où seule la consommation d'aliment a été évaluée pour limiter le stress des animaux engendré par une pesée). A 36 jours, 280 poulets (40/traitement) ont été abattus après 8 h de jeûne à l'abattoir expérimental de PEAT (INRA, Nouzilly, France). Ils ont été étourdis par électronarcose en bain d'eau (80mA, 125Hz, 5 sec.) et les carcasses ont été conservées à +2°C jusqu'au lendemain. Le rendement en filet et le pourcentage de gras abdominal ont été déterminés par rapport au poids vif. Des mesures de pH (pHu) et de couleur (L*, a*, b*) ont été réalisées 24 h post-abattage sur le muscle *Pectoralis major* selon la méthode décrite par Berri et al. (2007). Afin de mieux comprendre les différences de consommation observées entre aliments, nous avons évalué la rigidité des granulés distribués en finition à l'aide d'un Instron 5543 et selon la méthode décrite par Bouvarel et al. (2009). Les effets des formules sur la rigidité de l'aliment (granulés), les performances zootechniques et les caractéristiques des filets ont été évalués par ANOVA et les comparaisons des traitements deux à deux ont été réalisées en utilisant le test de Scheffe.

Résultats

Les caractéristiques des régimes et leurs effets sont présentés dans le tableau 1. Même si la distribution des régimes expérimentaux s'est faite sur une période très limitée (3 jours), elle a eu quelques effets significatifs sur les performances des

animaux. Il existe en effet des différences de consommation entre 33 et 36 jours, les aliments riches en lysine (L+) étant les moins bien consommés, particulièrement le régime L+110 qui contient des teneurs élevées à la fois en lysine et en autres acides aminés. Cette baisse de consommation pourrait être liée d'une part à une diminution brusque de la rigidité des granulés des régimes L+ liée en grande partie à l'augmentation de la teneur en huile de soja, et d'autre part à la teneur élevée en acides aminés. Par ailleurs, les animaux ayant reçu les régimes pauvres en lysine (L-) se caractérisent par les IC les plus élevés, notamment ceux ayant reçu le régime L-90 qui cumule l'appauvrissement en lysine et en autres acides aminés. Ces variations entraînent des diminutions significatives de GMQ et/ou de poids vif par rapport aux animaux ayant reçu le régime témoin (T) dans le cas des régimes L-90, L+100 et L+110. En revanche, nous n'avons pas mis en évidence d'impact significatif des régimes sur les rendements en filet ou le pourcentage en gras abdominal des poulets. Toutefois, nous montrons un effet significatif des traitements sur le pHu du muscle *P. major* du filet, dont les valeurs moyennes par traitement varient entre 5,77 et 5,90. Ces variations entraînent des changements de luminosité (L*) avec des valeurs moyennes comprises entre 48,4 et 51,2 en accord avec la corrélation négative qui existe entre pHu et L* (-0,67; p<0,01).

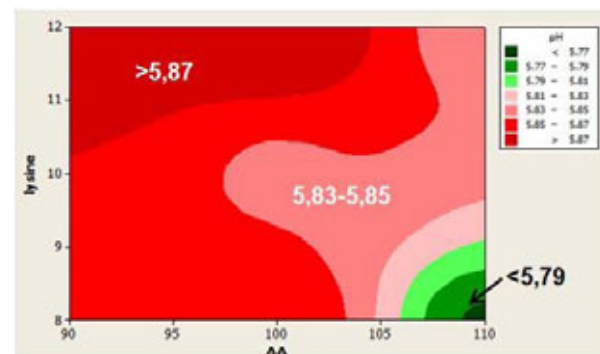
Tableau 1. Composition des régimes, croissance et composition corporelle des poulets et qualité du filet

Aliment	T	L-90	L-100	L-110	L+90	L+100	L+110		
Niveau de lysine, %	1	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2		
Autres acides aminés ¹ , %	100	90	100	110	90	100	110		
MAT ² , %	20,4	15,3	15,9	18,0	22,0	22,8	24,7		
Lipides, %	7,6	5,8	6,8	6,6	7,8	8,4	8,8		
Rigidité granulés, N/mm	97,0c	194,0a	136,7b	103,2bc	68,1de	72,6cde	51,6e	p-value	SEM
Croissance									
Consommation 33-36j, g	216,0a	216,1a	223,8a	214,8a	206,1ab	205,3ab	190,1b	<0,0001	4,2
IC 24-36j	1,64b	1,77a	1,70ab	1,70ab	1,66b	1,67b	1,67b	<0,0001	0,02
GMQ 24-36j, g/d	117,0a	106,2c	112,8ab	112,1abc	112,4ab	110,6b	108,4b	<0,0001	1,4
Poids 36j, g	2763a	2636b	2696ab	2710ab	2695ab	2687ab	2646b	<0,0001	18
Composition corporelle									
Filets, % PV	19,5	19,6	19,1	19,3	19,4	19,6	19,5	NS	0,2
Gras abdominal, % PV	2,32	2,42	2,24	2,27	2,27	2,17	2,19	0,09	0,06
Caractéristiques du filet									
pHu	5,85ab	5,87a	5,87a	5,77b	5,90a	5,90a	5,84ab	<0,0001	0,02
L*	49,64ab	48,9b	48,4b	51,2a	49,3b	49,5ab	50,1ab	<0,0001	0,45

¹% du ratio AA/Lys, 100% correspondant au ratio AA/Lys de l'aliment Témoin (T) ; ²Matière Azotée Totale

La Figure 2, réalisée à l'aide du logiciel Minitab, permet de représenter l'effet du déséquilibre entre l'apport en lysine et en autres acides aminés sur le pHu : les valeurs de pH élevées correspondent à un apport fort en lysine mais plutôt faible en autres acides aminés. A l'opposé, les valeurs de pH les plus faibles sont obtenues quand les animaux reçoivent un apport faible en lysine et élevé en autres acides aminés.

Figure 2 : Représentation graphique des effets respectifs de l'apport en lysine (g/kg d'aliment) et en autres acides aminés (% du ratio AA/Lys, 100% correspondant au ratio AA/Lys de l'aliment Témoin) sur le pHu du filet



Conclusion

Les résultats de cette étude montrent qu'il est possible de modifier le pHu des filets de poulet grâce à des stratégies alimentaires de très court terme appliquées 3 jours avant l'abattage sans pénaliser les performances zootechniques. Au-delà des applications pratiques, nos observations suggèrent un nouveau concept alimentaire qui en orientant le métabolisme intermédiaire des animaux permettrait de moduler les réserves énergétiques du muscle et le pHu de la viande. Ainsi un apport élevé en lysine stimulerait la synthèse protéique entraînant l'ensemble des acides aminés vers cette voie métabolique au détriment des voies de stockage (dont celle du glycogène musculaire), en particulier quand l'apport en autres acides aminés est faible (cas du régime L+90). A l'inverse, un déficit en lysine pourrait pénaliser la synthèse protéique favorisant le stockage de l'énergie sous forme de gras ou de glycogène musculaire, d'autant plus que l'apport en autres acides aminés est élevé (cas du régime L-110). Un essai est actuellement en cours pour valider ces premières observations dans des conditions de production.

Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Debut, M. et al. 2007. Journal of Animal Science, 85, 2005-2011.

Berri, C., Besnard, J., Relandeau, C. 2008. Poultry Science, 87, 480-484.

Bouvarel, I., Chagneau, A-M, Lecuelle, S. et al. 2009. Applied Animal Behaviour Science, 118, 62-68

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.

Jlali, M, Gigaud, V, Métayer-Coustard, S. et al. 2012. Journal of Animal Science, 90, 447-455.

Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Berri, C.M., et al. 2008. BMC Genetics, 9, 6 p.

ORIGINE DES MATIERES PREMIERES DE L'ALIMENT : CONSEQUENCES SUR LA QUALITE DE LA CHAIR DE TRUITE ET DE BAR

LEFEVRE F.¹, BUGEON J.¹, DUPONT-NIVET M.², MEDALE F.³, LABBE L.⁴, QUITTET B.⁵,
HAFFRAY P.⁵, LE BOUCHER R.^{2,5}, LAUREAU S.⁶, QUILLET E.², VERGNET A.⁷, KAUSHIK S.³,
VANDEPUTTE M.^{2,7}

¹ INRA, UR1037 LPGP, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

² INRA, UMR1313 GABI, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

³ INRA, UR1067 NUMEA, Quartier Ibarron, 64310 St Pée-sur-Nivelle, France

⁴ INRA, UE0937 PEIMA - Le Drennec - 29450 Sizun, France

⁵ SYSAAF, Section Aquacole, LPGP, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France

⁶ EMG, Voie des Enrochements, 59820 Gravelines, France

⁷ Ifremer, UMR110 INTREPID, 34250 Palavas Les Flots, France

Abstract: Plant-based diet had consequences on fish flesh quality in rainbow trout and sea bass

The effect of substitution of fish meal and fish oil by plant products in fish diet was evaluated on flesh quality of trout (2 experiments) and sea bass (1 experiment) either at a similar age or at a similar weight. Fish fed plant (V) diet had a lower weight than fish fed a marine (M) diet. V diet increased muscle adiposity in trout and not in sea bass compared to M diet. Plant-based (V) diets increased lightness (L*) value for trout fillet and yellowness (b*) for both trout and sea bass fillets. Muscle pH was also significantly affected by diet. Fillet firmness was changed but different effects were observed among experiments and fish species. At slaughter time, higher firmness was measured in the fillet of the V groups of sea bass and trout from the first experiment, whereas an opposite result, softer flesh for the V group fillet, was obtained for trout from the second experiment. At 48h pm, only trout from the 2nd experiment were tested and the lower firmness of the V group was confirmed whereas the higher firmness of the V sea bass group was also confirmed. Firmness of cooked fillet was higher for V trout whereas no effect of diet was found in sea bass.

Introduction

Dans un contexte de forte croissance de la production piscicole mondiale, il est devenu nécessaire de substituer les matières premières d'origine marine (farines et huiles de poisson), dont l'approvisionnement est limité, par d'autres sources. La substitution par des farines et des huiles végétales est la plus explorée actuellement pour l'alimentation des poissons d'élevage. Cette substitution a des effets notables sur la croissance et la composition de la chair, en particulier en ce qui concerne la teneur en $\omega 3$ dont dépend la qualité nutritionnelle (Médale, 2010). Ces effets sont néanmoins variables d'une espèce de poisson à l'autre et dépendent notamment de la proportion de matière première substituée dans l'aliment. Quelques travaux ont porté sur l'effet de cette substitution sur la qualité technologique (rendements de découpe) et sur les qualités organoleptiques de la chair. Chez les salmonidés, une alimentation à base de matières premières d'origine végétale produit des animaux plus gras tant au niveau du muscle qu'au niveau périviscéral. Quelques études rapportent des effets très limités ou non détectables d'une substitution des matières premières sur la qualité sensorielle des produits (Izquierdo et al., 2003; Brinker et Reiter, 2011).

L'objectif de ce travail est de préciser les conséquences de ce remplacement sur la qualité de la chair de truite et de bar.

Matériel et Méthodes

Des **truites** arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) ont été nourries depuis le premier repas avec un aliment 100% végétal (TV) et comparées à des truites nourries avec un aliment à base de farine et d'huile de poisson (TM). Deux expérimentations ont été réalisées durant deux années successives. Dans le 1^{er} essai (Truite 1) les poissons TM et TV ont été comparés à poids égal (mais âges et saisons différents) tandis que pour le 2^{ème} essai (Truite 2), ils ont été mesurés à la fois à âge égal (1 an, mais poids différents) et à poids équivalent (âges et saisons différents). Le poids des poissons et la teneur en lipides musculaires, évaluée par le Fat-meter[®], ont été mesurés juste après l'abattage. Des paramètres de qualité de la chair (pH, couleur, résistance mécanique par pénétrométrie et mesure en presse de Kramer) ont été évalués juste après l'abattage sur le filet cru et à 48h post-mortem (pm) sur les filets crus et cuits. A 48h pm, les teneurs en matières sèches des filets ont également été mesurées.

Des **bars** (*Dicentrarchus labrax*) ont été nourris à partir de 193g avec un aliment contenant seulement 2% de farine et 2% d'huile de poissons (BV) et d'autres (BM) avec un aliment contenant de l'huile de poisson et un mélange de farine de poisson (1/3) et de sources protéiques végétales (2/3). Les caractéristiques des poissons et la qualité de leur chair ont été évaluées, à âge égal, comme indiqué précédemment pour les truites.

Résultats et discussion

Pour les deux espèces, les animaux nourris avec l'aliment V ont une croissance inférieure aux poissons nourris avec l'aliment M. On peut noter que, du fait de ce retard de croissance, nous n'avons pu obtenir des individus V à poids réellement égal à celui des M (Tableau 1).

Les indicateurs de teneurs en lipides musculaires (estimation fat-meter® et teneur en matières sèches) témoignent d'une teneur en lipides musculaires supérieures chez les TV, comparée aux TM. Par contre la nature de l'aliment n'a eu aucun effet sur ces paramètres chez le bar (BM non différent de BV).

L'origine des matières premières de l'aliment affecte la luminosité (L*) des filets de truite qui est supérieure chez les poissons nourris avec l'aliment V. La luminosité des filets de bar n'est pas affectée. La couleur des filets (composante rouge a* et jaune b*) est notablement affectée chez les deux espèces avec, en particulier, des filets nettement plus jaunes pour les poissons nourris avec l'aliment V sans doute en raison de la présence de maïs dans l'aliment.

Le pH musculaire mesuré dans les 2h suivant l'abattage (pHi) est plus faible chez les TV que chez les TM mais aucune différence n'est mesurée chez le bar. Le pH musculaire ultime (pHu), mesuré à 48h pm, est toujours affecté par la nature de l'aliment mais de façon différente selon les expérimentations. Des valeurs plus élevées du pHu pour les poissons nourris avec l'aliment V sont mesurées dans l'expérience "Truite 1" et chez le bar, tandis qu'un résultat opposé est obtenu pour l'expérience "Truite 2". Les effets de l'aliment sur le pH musculaire suggèrent que le métabolisme musculaire *in vivo* et/ou le métabolisme pm seraient affectés par la nature des matières premières de l'aliment.

La résistance mécanique des filets, mesurée juste après l'abattage, fournit des résultats contradictoires chez la truite. Dans l'expérience "Truite 1" la fermeté des filets est supérieure pour les animaux V par rapport aux animaux M tandis que l'inverse est mesuré pour l'expérience "Truite 2". Toutefois, les filets V ont des valeurs similaires entre les deux expériences, il semble donc que ce sont les filets M de l'expérience "Truite 1" qui aient des valeurs anormalement faibles. La même mesure, chez le bar, montre que les filets des poissons V sont plus fermes que ceux des poissons M. A 48h pm, les différences mesurées à l'abattage sont confirmées pour les "Truite 2" et les bars, avec l'aliment V qui donne des filets moins fermes chez la truite et plus ferme chez le bar. Après cuisson, les filets TV sont plus fermes que les TM tandis qu'il n'y a plus de différence entre les filets des bars M et V.

Tableau 1 : Poids des poissons et paramètres de qualité de la chair de truites et de bar nourris avec un aliment "marin" (M) ou "végétal" (V). Pour les paramètres mesurés à l'abattage (Poids, F-M, L*, a*, b* et pHi), n≥950 pour Truite 1 et n≥295 pour truite 2; pour les autres paramètres, n=70 pour Truite 1 et n= 60 pour Truite 2; n=30 pour le Bar.

	Truite 1			Truite 2						Bar		
	poids égal			poids égal			âge égal			âge égal		
	M	V	p:	M	V	p:	M	V	p:	M	V	p:
Age (jpf)	343	465		355	480		355			715		
Poids (g)	444 ± 95	406 ± 115	***	519 ± 133	481 ± 183	**	518 ± 135	247 ± 89	***	936 ± 213	801 ± 210	*
F-M (%)	5.7 ± 0.9	7.4 ± 1.4	***	6.5 ± 1.2	8.4 ± 2.6	***	6.5 ± 1.2	7.0 ± 1.4	***	10.4 ± 3.5	11.5 ± 3.2	NS
MS (%)	27.8 ± 1.4	29.7 ± 2.1	***	27.6 ± 1.3	29.7 ± 2.5	***	27.6 ± 1.3	28.9 ± 1.8	***	27.7 ± 1.6	27.6 ± 2.0	NS
L*	45.7 ± 1.5	50.0 ± 2.1	***	45.7 ± 2.3	50.5 ± 2.5	***	45.7 ± 2.3	48.6 ± 2.0	***	38.3 ± 1.8	37.8 ± 1.5	NS
a*	-0.4 ± 0.4	-0.7 ± 0.5	***	-0.2 ± 0.5	0.2 ± 0.7	***	-0.2 ± 0.5	-0.1 ± 0.6	*	0.6 ± 0.8	1.5 ± 0.9	***
b*	0.5 ± 0.8	5.4 ± 2.2	***	0.8 ± 0.8	4.5 ± 1.9	***	0.8 ± 0.8	3.0 ± 1.7	***	-1.7 ± 0.7	1.2 ± 0.7	*
pHi	7.08±0.14	7.03±0.20	***	7.23±0.17	7.02±0.13	***	7.23±0.17	7.15±0.14	***	7.00±0.20	7.00±0.18	NS
pHu	6.36±0.05	6.41±0.07	***	6.41±0.05	6.36±0.04	***	6.41±0.05	6.39±0.05	*	6.39±0.08	6.47±0.10	***
Ferm. Ab. (EqJ/mm)	83 ± 11	102 ± 13	***	113 ± 13	93 ± 14	***	113 ± 13	101 ± 16	***	144 ± 25	160 ± 12	**
Ferm. cru J2 (EqJ/g)	NE	NE	-	780 ± 127	520 ± 90	***	780 ± 127	672 ± 118	***	1455±286	1703±533	*
Ferm. cuit (EqJ/g)	NE	NE	-	550 ± 66	798 ± 158	***	550 ± 66	686 ± 87	***	694 ± 77	664 ± 62	0.10

jpf : nombre de jours post-fécondation; F-M: évaluation Fat-Meter®, MS: teneur en matières sèches, L*: luminosité, a*: composante rouge, b*: composante jaune, pHi: pH initial (<2h pm), pHu: pH ultime (48h pm), Ferm Ab: Résistance mécanique juste après l'abattage, Ferm cru J2: Résistance mécanique des filets crus à 48h pm, Ferm. cuit: Résistance mécanique des filets cuits. NS: non significatif, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001. NE: Non Evalué.

Conclusion

La nature des matières premières de l'aliment a des conséquences sur la qualité de la chair de truite et de bar. L'aliment V conduit à des filets plus gras, plus lumineux et plus jaunes chez la truite tandis que des différences de couleur sont observées chez le bar mais sans différence d'adiposité. Le pH musculaire est affecté par la nature de l'aliment, tout comme la texture de la chair, mais les effets peuvent différer entre les deux espèces. L'origine des effets, parfois différents, observés chez la truite et le bar reste à déterminer mais peut être reliée à des différences dans la structure musculaire et dans le niveau d'expression de certaines protéines musculaires en particulier certaines enzymes du métabolisme.

Ces travaux ont été financés par le FUI VEGEAQUA

Médale F., 2010. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 45, 267-273.

Brinker A., Reiter R., 2011. Aquaculture, 310, 350-360.

Izquierdo M.S., Obach A., Arantzamendi L., Montero D., Robaina L., Rosenlund G., 2003. Aquaculture Nutrition, 9, 397-407.

LES MOLECULES DE LA MATRICE EXTRACELLULAIRE CHEZ LE BOVIN : RELATION AVEC LES QUALITES ORGANOLEPTIQUES DE LA VIANDE

DUBOST A.¹, MICOL D.¹, PICARD B.¹, LETHIAS C.², LISTRAT A.¹

¹ INRA-VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

² IBCP, FRE 3310 DyHTIT, 7 Passage du Vercors, F-69367 Lyon, cedex 07, France

Abstract: Content of some extracellular matrix macromolecules in bovine muscle: relationship with meat sensory quality

Decorin, tenascin X and collagen XIV are macromolecules of the extracellular matrix which could modulate mechanical properties of connective tissue. The aim of the study was to investigate the abundance of these molecules in two muscles differing in texture, *Longissimus thoracis* and *Biceps femoris*, sampled in two beef breeds, and to study their relationship with meat sensory qualities. Our results showed that *Biceps femoris* contained higher abundance of decorin ($p < 0.001$) and tenascin X ($p < 0.05$) than *Longissimus thoracis*. No breed effect was detected for decorin and tenascin X. The abundance of collagen XIV was not influenced by muscle or breed factors. Decorin was negatively correlated with juiciness ($r = -0.42$) and abnormal flavour ($r = -0.61$). Tenascin X showed a positive correlation with overall liking ($r = 0.33$) and a negative correlation with abnormal flavour ($r = -0.33$). These results provide evidence of the key role of the extracellular matrix molecules on quality traits of meat.

Introduction

La matrice extracellulaire (MEC) est un réseau dynamique de molécules comprenant, entre autres, la décorine (famille des protéoglycanes [PGs]), la ténascine X (glycoprotéine non collagénique) et le collagène XIV. *In vitro*, il a été montré que la décorine et la ténascine X interagissaient ensemble et avec le réseau collagénique fibrillaire (Eleftheriou, 2001; Lethias, 2006; Pins, 1997), et que le collagène XIV se liait à la décorine (Font, 1993). Des études *in vivo* chez la souris ont par ailleurs montré que l'inactivation du gène de la décorine ou de la ténascine ou un déficit en ces molécules étaient responsables d'une fragilité du tissu conjonctif (Chiquet-Ehrismann et Tucker, 2004; Danielson, 1997). On peut donc émettre l'hypothèse que ces molécules peuvent moduler les propriétés mécaniques du tissu conjonctif (Nishiyama, 1994). L'objectif de cette étude était de mesurer les abondances de la décorine, de la ténascine X et du collagène XIV dans deux muscles issus de deux races bovines, et de les mettre en relation avec les qualités sensorielles de la viande bovine.

Matériels et méthodes

Prélèvements. Les muscles *Longissimus thoracis* [LT] et *Biceps femoris* [BF] ont été prélevés sur des bovins âgés de 17 mois ($n = 44$ au total) de races Aberdeen Angus et Blonde d'Aquitaine. Pour l'étude des molécules de la MEC, les échantillons ont été prélevés dans l'heure suivant l'abattage, puis conservés à -80°C jusqu'à analyse. Pour l'évaluation des qualités organoleptiques, les échantillons ont été prélevés à 24 h *post-mortem*, puis laissés 14 jours à $+4^{\circ}\text{C}$ pour maturation de la viande.

Western blots. Après extraction dans un tampon type RIPA, les molécules étudiées ont été séparées par électrophorèse SDS-PAGE, puis transférées en milieu liquide sur une membrane. Les membranes ont été révélées par ECL, puis quantifiées avec le logiciel Image Quant. Les résultats ont été exprimés en Unité Arbitraire (UA).

Evaluation de la qualité organoleptique. Le muscle LT a été grillé à 55°C à cœur sur grill préchauffé 1 h à 320°C . Le muscle BF a été cuit à 70°C à cœur pendant 1 h, sous vide au bain-marie. Un jury d'analyse sensorielle entraîné a évalué, par une note de 0 à 10, la tendreté, la flaveur typique et anormale de bœuf, la jutosité, les résidus après mastication et a donné une appréciation globale de satisfaction. La mesure de la force mécanique au cisaillement (Instron® 5944) a également été réalisée sur échantillons cuits comme précédemment.

Analyses statistiques. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT-Pro 2012.3.01. Les effets du type de muscle et du type racial, pour chaque molécule de la MEC, ont été testés par analyse de variance à deux facteurs. Puis une analyse en composantes principales réalisée sur l'ensemble du jeu de données (muscles et races confondus) a permis de mettre en relation les abondances relatives des molécules avec les données de qualité organoleptique de la viande.

Résultats et discussion

Effets du type de muscle et du type racial. Le muscle BF contient significativement plus de décorine (Fig. 1A) et de ténascine X (Fig. 1B) que le muscle LT. Aucun effet significatif du type racial n'a été détecté. Pour le collagène XIV, aucun effet (muscle ou type racial) n'a été mis en évidence.

Relation avec la qualité organoleptique. La décorine est négativement corrélée à la jutosité ($r = -0.42$, $p < 0.05$) et à la flaveur anormale ($r = -0.61$, $p < 0.05$) et positivement à l'appréciation globale ($r = 0.46$, $p < 0.05$).

La ténascine X est négativement corrélée à la flaveur anormale ($r=-0,33$, $p<0,05$) et positivement à l'appréciation générale ($r=0,33$, $p<0,05$).

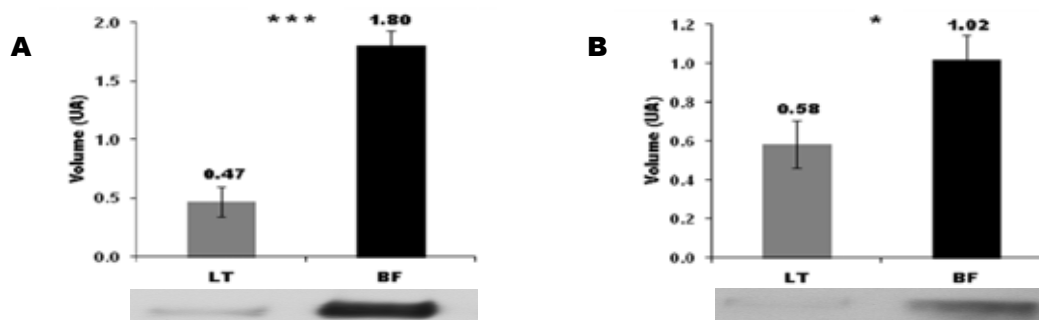


Figure 1: Effet du type de muscle (*Longissimus thoracis* [LT] et *Biceps femoris* [BF]), observé pour la décorine (A) et la ténascine X (B). Les résultats sont exprimés en unité arbitraire (UA) et significatif pour un seuil de $p<0,05$ (* $p<0,05$; *** $p<0,001$).

La teneur en décorine est plus élevée dans le muscle supposé le plus dur, le BF, ce qui corrobore les résultats de Pedersen qui avait montré une quantité de décorine plus élevée dans le muscle *Semitendinosus* (le plus dur, comparativement au plus tendre, le *Psoas major*) (Pedersen, 1999). Les PGs de faible poids moléculaire (tels que la décorine) sont capables de se lier aux fibres de collagène et de créer des ponts entre les fibres collagéniques, influençant ainsi les propriétés mécaniques du tissu conjonctif (Pins, 1997; Scott, 1992) en le rendant moins souple. Cependant, aucune corrélation n'est observée entre la teneur en décorine et la tendreté. En revanche, une relation négative est obtenue entre la teneur en décorine et la jutosité. Or, nous avons montré précédemment que les PGs sulfatés avaient un rôle positif sur la jutosité (publication en cours). La capacité de rétention d'eau est une fonction des PGs de haut poids moléculaire qui possèdent de très nombreux groupements sulfatés et une densité de charge anionique plus élevée que celle des PGs de faible poids moléculaire (Faggian, 2007). Ainsi, les PGs de faible poids moléculaire retiendraient moins d'eau, permettant d'expliquer une relation négative avec la jutosité.

Concernant la ténascine X, nos résultats montrent une abondance plus élevée dans le muscle BF, le plus dur. Ceci laisse supposer une relation positive entre ténascine X et dureté de la viande. En accord avec cette hypothèse, Margaron (Margaron, 2010) avait montré, *in vitro*, que l'ajout de ténascine X sur des gels de collagène de structure augmentait la rigidité de ces gels. Toutefois, nos analyses n'ont pas révélé de corrélations entre l'abondance de ténascine et la dureté.

Conclusions

Nos résultats apportent des données originales sur le rôle de molécules de la MEC dans les qualités organoleptiques de la viande. Ils montrent que la décorine et la ténascine X sont quantitativement plus présentes dans le muscle BF que dans le muscle LT. Nos résultats révèlent par ailleurs que la décorine est corrélée négativement à la jutosité et positivement à l'appréciation globale de satisfaction, alors qu'aucun lien avec la tendreté n'a pu être mis en évidence. La décorine pourrait ainsi jouer un rôle clé sur les qualités organoleptiques de la viande bovine.

Les auteurs remercient le personnel de l'UERT de l'INRA de Theix pour la production, l'abattage et les mesures de Warner-Bratzler, Arnaud Delavaud (UMRH-INRA Amuvi) pour la réalisation des Western bots, ainsi que le jury d'analyse sensorielle de l'UE-INRA EASM du Magneraud.

- Chiquet-Ehrismann R., Tucker R. P. 2004. *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 36, 1085-1089.
- Danielson K. G., Baribault H., Holmes D. F., Graham H., Kadler K. E., Iozzo R. V. 1997. *J. Cell Biol.*, 136, 729-743.
- Eleftheriou F., Exposito J. Y., Garrone R., Lethias C. 2001. *FEBS Lett.*, 495, 44-47.
- Faggian J., Fosang A. J., Zieba M., Wallace M. J., Hooper S. B. 2007. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 293, R784-R792.
- Font B., Aubertfoucher E., Goldschmidt D., Eichenberger D., Van der Rest M. 1993. *J. Biol. Chem.*, 268, 25015-25018.
- Lethias C., Carisey A., Comte J., Cluzel C., Exposito J. Y. 2006. *FEBS Lett.*, 580, 6281-6285.
- Margaron Y., Bostan L., Exposito J. Y., Malbouyres M., Trunfio-Sfarghiu A. M., Berthier Y., Lethias C. 2010. *Biophys. Chem.*, 147, 87-91.
- Nishiyama T., McDonough A. M., Bruns R. R., Burgeson R. E. 1994. *J. Biol. Chem.*, 269, 28193-28199.
- Pedersen M. E., Kolset S. O., Sorensen T., Eggen K. H. 1999. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 1445-1452.
- Pins G. D., Christiansen D. L., Patel R., Silver F. H. 1997. *Biophys. J.*, 73, 2164-2172.
- Scott J. E. 1992. *FASEB J.*, 6, 2639-2645.

DETECTION DE QTL AVEC LA PUCE *PorcineSNP60* POUR DES INDICATEURS DE LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DE LA VIANDE DANS UNE POPULATION LARGE WHITE

SANCHEZ M.P.¹, TRIBOUT T.¹, IANNUCELLI N.², BOUFFAUD M.³, SERVIN B.², DEHAIS P.², MULLER N.³, MERCAT M.J.⁴, ESTELLE J.¹, BIDANEL J.P.¹, ROGEL-GAILLARD C.¹, MILAN D.², GILBERT H.²

¹INRA, UMR1313 GABI, F-78350 Jouy-en-Josas, ²INRA, UMR444 LGC, F-31326 Castanet-Tolosan, ³INRA, UE450 Testage Porcs, F-35651 Le Rheu ; ⁴IFIP, Pôle génétique, F-35651 Le Rheu

Abstract: Detecting QTL of ham technological quality in Large White pigs with the *PorcineSNP60* Beadchip

A total of 389 French Large White pigs (106 sire families) were controlled for ultimate pH of *semimembranosus* muscle, L* a* b* Minolta values and water holding capacity of *gluteus superficialis* muscle, and a meat quality index was computed. Pigs were genotyped using the *PorcineSNP60* Beadchip containing 64,432 SNP (Single Nucleotide Polymorphism) markers. A genome-wide association study (GWAS) was then performed with the FASTA method. Thirty-three significant SNP effects ($P < 10^{-4}$) were identified on chromosomes (SSC) 1, 3, 4, 7, 8, 9, 13 and 14. Further haplotypic analyses revealed a 6-SNP region (183kb) on SSC1 with 3 major haplotypes having favourable (ACTCTA, 57%), intermediate (GTCTCC, 19%) and unfavourable (ACTTTC, 24%) effects on meat quality. Complementary analyses showed that these haplotypes did not affect growth rate or body composition of the pigs. Further investigations are required but these results are of potential interest to improve technological meat quality.

Introduction

De nombreux locus à effets quantitatifs (QTL) ont été détectés à l'aide de marqueurs microsatellites chez le porc (<http://www.animalgenome.org/QTLdb/pig.html>; Hu *et al.*, 2007). Cependant, à cause de la faible densité de ce type de marqueurs (un microsatellite tous les 10-30 Mb sur le génome porcin), c'est essentiellement l'information de liaison intra-famille due à la ségrégation sur une génération qui a permis de détecter des associations marqueur-caractère. Ces résultats intra-famille sont difficiles à utiliser dans les programmes d'amélioration génétique du porc. Avec les progrès du séquençage des génomes, des marqueurs beaucoup plus densément répartis sur le génome et correspondant à la variation d'un seul nucléotide (SNP pour Single Nucleotide Polymorphism) ont été développés. La puce *PorcineSNP60* disponible depuis 2009 (Ramos *et al.*, 2009) renferme 64 432 SNP, soit un SNP tous les 50kb en moyenne. Avec un tel outil, la distance entre les mutations responsables des effets observés et les marqueurs anonymes permet de détecter des SNP associés à la variabilité des caractères quantitatifs non plus intra-famille mais intra-population. Les résultats obtenus dans les populations commerciales peuvent donc ensuite être directement utilisés en sélection. A ce jour, quelques analyses d'association à l'échelle du génome ont été publiées chez le porc mais à notre connaissance, aucune ne portait sur l'analyse de caractères de qualité de viande. Nous rapportons ici les résultats d'une étude réalisée dans une population Large White (LW) française pour 6 indicateurs de la qualité technologique du jambon.

Matériel et méthodes

Animaux et performances. Un total de 389 mâles castrés LW, issus de 106 verrats, a été contrôlé dans l'unité expérimentale INRA de testage des porcs (UETP, Le Rheu, Ille et Vilaine). Les porcs ont été abattus dans un abattoir commercial à environ 110kg de poids vif. Plusieurs critères de la qualité technologique du jambon ont été mesurés 24h après l'abattage : le pH du muscle demi-membraneux (PHDM), les coordonnées L*, a* et b* (système CIELAB, Minolta) et le temps d'imbibition d'un morceau de papier pH sur le muscle fessier superficiel (LFS, AFS, BFS et IMBFS, respectivement). Un indice de qualité de viande (IQV) a été calculé pour prédire le rendement technologique du jambon selon l'équation (ITP, 1993): $IQV = 34 + (11,04 \times PHDM) + (0,105 \times IMBFS) - (0,231 \times LFS)$.

Génotypages et contrôle qualité. Les 389 castrats et leurs 106 pères ont été génotypés pour la puce *PorcineSNP60* (Illumina, 64 432 SNP) au Centre National de Génotypage (Evry, Essonne). La carte physique la plus complète disponible à ce jour (*Sus Scrofa* Build 10.2) a été utilisée. Les SNP génotypés sur moins de 97% des animaux, avec une fréquence de l'allèle rare (MAF) inférieure à 5% et dont les fréquences génotypiques s'éloignaient significativement de l'équilibre de Hardy-Weinberg ($P > 10^{-5}$) ont été éliminés (fonction check.marker, package R GenABEL ; Aulchenko *et al.*, 2007). Au total, 44 412 SNP ont ainsi été inclus dans les analyses, soit 15 SNP par mégabase (Mb) en moyenne.

Analyses statistiques. Les performances des 389 animaux LW et de 2890 contemporains (4 races - UETP et station de Mauron, Morbihan) ont été considérées pour corriger les données pour les effets de milieu. Tous les caractères ont été corrigés pour les effets fixés de la race, de la combinaison année de contrôle - station de contrôle - date d'abattage, ainsi que pour la covariable poids de l'animal à l'abattage intra race (procédure GLM, SAS). Les analyses d'association ont été réalisées avec le package R GenABEL (Aulchenko *et al.*, 2007). Pour chaque caractère, l'effet individuel du SNP et l'effet polygénique (effet aléatoire avec une matrice de variance-covariance structurée selon la matrice de parenté

génomique) ont été estimés conjointement avec la méthode FASTA (Chen *et al.*, 2007). Des analyses par haplotype ont ensuite été réalisées dans les régions présentant des effets significatifs. Les blocs haplotypiques ont été reconstitués avec le logiciel Haploview (V4.2 ; Barret *et al.*, 2005) et leur effet a été testé avec un modèle mixte (procédure Mixed, SAS) incluant un effet aléatoire du père et une régression multiple sur les haplotypes de la région.

Résultats et discussion

Afin de limiter le nombre de résultats faux-positifs dû à la multiplicité des tests (44 412 SNP x 6 caractères), nous avons ajusté le seuil de signification (« p-value ») pour le nombre de tests indépendants. Pour cela, nous avons considéré que 2 SNP distants de plus d'une Mb étaient indépendants et que, compte tenu de leurs corrélations, les 6 caractères analysés correspondaient à 4 caractères indépendants. Nous avons donc choisi de ne conserver que les résultats avec une p-value < 10⁻⁴ (valeur correspondant à un faux-positif à l'échelle de notre analyse). Nous avons ainsi obtenu 33 résultats significatifs sur les chromosomes (SSC) 1, 3, 4, 7, 8, 9, 13 et 14. Parmi ces régions, 5 ont été sélectionnées pour des analyses haplotypiques car elles présentaient plusieurs SNP avec des résultats significatifs (tableau 1). Les QTL mis en évidence sur SSC1a et SSC9 avec des effets respectifs sur BFS et LFS n'avaient jamais été décrits auparavant.

Tableau 1. Régions QTL décrites par les SNP significatifs (p-value < 10⁻⁴) et effets alléliques correspondant en unités d'écart-type (a)

SSC	Nombre de résultats significatifs	Taille région (kb)	Caractères	a (min - max)	p-value (min - max)
1a	3	13	BFS	0,33 - 0,35	6.10 ⁻⁶ - 2.10 ⁻⁵
1b	3	27	PHDM, IQV	0,31 - 0,32	8.10 ⁻⁵ - 2.10 ⁻⁵
1c	10	183	BFS, LFS, IQV	0,32 - 0,49	2.10 ⁻⁶ - 1.10 ⁻⁴
4	4	1 288	AFS	0,30 - 0,37	4.10 ⁻⁵ - 5.10 ⁻⁵
9	6	401	LFS	0,30 - 0,37	1.10 ⁻⁶ - 7.10 ⁻⁵

Sur **SSC1c**, région dans laquelle le plus grand nombre d'effets significatifs a été retrouvé (10 combinaisons SNP x caractère avec 6 SNP différents), un bloc haplotypique contenant 6 SNP en fort déséquilibre de liaison a pu être reconstitué et 3 haplotypes distincts ont été retrouvés dans la population LW étudiée (figure 1). L'effet global de la région est significatif sur l'ensemble des caractères analysés (tableau 2). L'haplotype le plus fréquent (ACTCTA) est associé à une viande de meilleure qualité avec des plus fortes valeurs d'IMBFS et d'IQV par rapport à la moyenne de la population ; l'haplotype ACTTTC a un effet légèrement défavorable sur IMBFS (-8s par rapport à la moyenne) ; enfin, l'haplotype GTCTCC a un effet défavorable sur l'ensemble des caractères, sauf sur IMBFS (effet intermédiaire). Aucun effet significatif n'a été mis en évidence pour ces haplotypes sur des caractères de croissance, d'ingestion, d'efficacité alimentaire et de composition de carcasse (Sanchez *et al.*, 2012).

Figure 1. SSC1c : bloc haplotypique avec les valeurs du déséquilibre de liaison (r²) entre les SNP (carré rouge, r²=1), haplotypes et fréquences dans la population étudiée



Tableau 2. Effets des haplotypes

Caractère	Ecart-type	p-value	Effets en unités d'écart-type		
			ACTCTA	ACTTTC	GTCTCC
PHDM	0,15	0,0007	0,16 a	0,03 a	-0,19 b
LFS	3,49	< 0,0001	-0,16 a	-0,14 a	0,30 b
AFS	1,54	0,0252	-0,13 a	0,04 ab	0,09 b
BFS	1,43	< 0,0001	-0,18 a	-0,13 a	0,31 b
IMBFS (s)	59,6	0,0113	0,14 a	-0,13 b	-0,02 ab
IQV (%)	2,45	< 0,0001	0,20 a	0,03 a	-0,23 b

¹ Pour un même caractère, les effets avec des lettres différentes (a ou b) sont significativement différents pour une erreur de 1^{ère} espèce de 0.05

Ces résultats sont très prometteurs. En effet, notre étude a été réalisée sur une population représentative de la population LW française et un grand nombre de caractères a été contrôlé. Néanmoins, avant de pouvoir envisager la sélection des haplotypes favorables en race LW, il faut s'assurer qu'il n'existe pas d'autres haplotypes sur un échantillon d'animaux plus grand et vérifier les effets de ces haplotypes sur d'autres caractères (reproduction par exemple).

Conclusion

Grâce à l'utilisation de la puce *porcineSNP60*, nous avons confirmé l'existence de plusieurs QTL et surtout, mis en évidence de nouveaux QTL pour plusieurs indicateurs de la qualité technologique du jambon dans la population LW française. Dans ces régions, une densification en marqueurs voire un séquençage, combiné à l'analyse de paramètres liés au métabolisme énergétique du muscle, pourraient permettre d'identifier des variants candidats. Cette première analyse permet d'envisager dès à présent la sélection des haplotypes favorables dans le but d'améliorer la qualité technologique de la viande chez le porc LW.

Cette étude a été financée par l'ANR et BIOPORC (Projets DELISUS ANR-07-GANI-001 et IMMOPIG ANR-06-GANI-008)

- Aulchenko Y.S., de Koning D.J., Haley C., 2007. *Genetics*, 177, 577-585.
 Barrett J.C., Fry B., Maller J., Daly M.J., 2005. *Bioinformatics*, 21, 263-265.
 Chen W.M., Abecassis G.R., 2007. *Am. J. Hum. Genet.*, 81, 913-926.
 Hu Z.L., Fritz E.R., Reecy J.M., 2007. *Nucleic Acids Research*, 35, 604-609.
 Ramos A.M., Crooijmans R.P., Affara N.A., Amaral A.J., Archibald A.L., Beever J.E. et al., 2009. *PLoS One* 4, e6524.
 Sanchez M.P., Tribout T., Iannuccelli N., Bouffaud M., Servin B., Dehais P., Muller N., Mercat M.J., Estelle J., Bidanel J.P., Rogel-Gaillard C., Milan D., Gilbert H., 2012. *J. Rech. Porcine*, 44, 7-12.

ATOL : UNE ONTOLOGIE DEDIEE AUX TRAITS DES ANIMAUX D'ELEVAGE, UN EXEMPLE SUR LE THEME DE LA CROISSANCE ET DE LA QUALITE DE LA VIANDE.

BUGEON J.¹, BAEZA E.², BRUN J-P.³, CASSAR-MALEK I.³, CHATONNET A.⁴, DUCLOS M.J.², FERNANDEZ X.⁵, GONDRET F.⁶, HUE I.⁷, JURIE C.³, LEIBOVITCH S.⁴, PICARD B.³, PRACHE S.³, RESCAN P-Y.¹, LE BAIL P-Y.¹

1 INRA, UR1037 LPGP, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes

2 INRA, UR83 URA, 37380 Nouzilly

3 INRA, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle

4 INRA, UMR866 DMEM, 34060 Montpellier

5 INRA, UMR1289 TANDEM, 31326 Castanet-Tolosan

6 INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 St-Gilles

7 INRA, UMR1198 BDR, 78352 Jouy-en-Josas

Abstract: ATOL: An ontology dedicated to livestock traits, an example on growth and meat products quality

Recent technological advances in biology allow the collection of large sets of data which permit a precise description of the phenotypes. To process those data, computers require a standardized language to which the users (zootechnician, geneticists, physiologists, biochemists, ethologists, producers...) will be able to refer. The construction of this language is based on ontologies. INRA in collaboration with USDA in the USA have set up a program called ATOL (for "Animal Trait Ontology for Livestock") aiming to define and organize the phenotypical characters of livestock species. Integrating societal concerns, the objective is to describe the traits underlying livestock production efficiency: welfare and adaptation, nutrition and feed efficiency, fertility and reproductive efficiency, mammary gland and milk production, growth and meat production. At present, 229 traits concern growth and meat production, of 6 major species (cattle, pig, chicken, trout, rabbit, sheep) with a good genericity.

Introduction

Les avancées technologiques récentes de la biologie permettent la production de grandes quantités de données capables de décrire de plus en plus précisément les phénotypes (Hocquette et al 2012). Le phénotype d'un individu est l'ensemble des traits (caractères) observables (au niveau moléculaire, physiologique, anatomique, morphologique, éthologique) le caractérisant. Par exemple, au trait « couleur des yeux » correspond le phénotype « bleu », au trait « poids vif » le phénotype « 10 kg ». Le phénotype est la résultante de l'expression du génome et de l'influence du milieu environnant, un même phénotype pouvant dépendre de plusieurs gènes. C'est par exemple le cas de la croissance d'un animal qui dépend de nombreux déterminants génétiques (systèmes hormonaux, protéines de structure, capacité digestive...) mais aussi des conditions d'élevage et du milieu environnant (alimentation, exercice, température, interactions entre individus, niveau de stress, pathologie...). C'est l'observation directe et simple des phénotypes (par exemple le caractère culard des bovins qui correspond à une hypertrophie musculaire) qui a favorisé leur utilisation généralisée par les physiologistes dans l'étude des mécanismes biologiques et les généticiens dans leurs programmes de sélection. Toutefois les phénotypes peuvent porter sur des traits moins "visibles", nécessitant une intervention plus ou moins invasive (biopsie, dissection...), comme dans le cas de la structure du muscle. La caractérisation de chaque phénotype implique un traitement informatique des données qui a révélé la nécessité de disposer d'un langage standardisé définissant sans ambiguïté les traits auxquels pourront se référer des utilisateurs très variés (zootechniciens, généticiens, physiologistes, biochimistes, éthologues, modélisateurs, producteurs...). La construction de ce langage passe par le recours aux ontologies, ensembles structurés de termes et concepts qui s'adressent à un champ défini d'informations organisées pour répondre aux besoins des utilisateurs. Aujourd'hui, aucune ontologie n'est spécifiquement dédiée aux animaux d'élevage (poissons, volailles, mammifères). Pour répondre à cet enjeu, l'INRA en France, en collaboration avec l'USDA aux USA (Hughes et al 2008), a mis en place un programme nommé ATOL (pour « Animal Trait Ontology for Livestock ») dont l'objectif est de construire une ontologie visant à définir et à organiser les caractères phénotypiques des animaux d'élevage. Cette ontologie a pour périmètre les productions d'intérêt, tout en prenant en compte les préoccupations sociétales. Elle se divise en cinq thèmes : l'adaptation et le bien être, la nutrition et l'efficacité alimentaire, le système reproducteur et la fertilité, la glande mammaire et la production de lait et enfin la croissance et la qualité des carcasses et des viandes.

Méthodes

La première étape de la construction de cette ontologie a consisté à constituer un réseau d'experts par domaine et par espèce, chaque thème étant animé par un curateur. Pour la croissance et la qualité des carcasses et des viandes, 14 experts de l'INRA participent à cette construction pour six espèces de rentes (bovins, porc, poulet, ovins, lapin, truite) et deux espèces modèles (souris, zebrafish). La seconde étape a consisté à valider et éventuellement modifier les traits existant dans l'ontologie en construction aux USA (consortium ATO et VT) puis à proposer de nouveaux traits, en particulier des traits composés (taux de croissance, rendement de découpe). Une hiérarchisation de ces traits a été réalisée dans une troisième étape afin de les organiser en 5 branches (croissance, qualité des carcasses, qualité des viandes, tissu adipeux, biologie du muscle).

Résultats et discussion

La visualisation de l'ontologie est possible via une interface web sur le site dédié (<http://www.atol-ontology.com>), ou hors ligne via l'éditeur d'ontologie Protégé-4.1 (format OWL). Chaque trait est composé d'un identifiant numérique unique, son nom, une définition, la liste des espèces pour lesquelles il est valide, des références sur son origine, des synonymes, le cas échéant des commentaires ou précisions sur la façon dont il est mesuré ou sur des particularités liées à chaque espèce (Figure 1). En juillet 2012, l'ontologie comportait un total de 1657 traits dont 228 pour le thème croissance et qualité des produits selon la répartition présentée dans le tableau 1. Une caractéristique de ce thème est sa forte généralité puisque 85% des traits concernent l'ensemble des espèces de rente (57% pour les autres thèmes hors production laitière), il y a par exemple 201 traits communs entre la truite et le bovin. Cette généralité illustrée dans le tableau 2 avec la répartition par espèce est importante pour pouvoir utiliser ATOL dans des approches comparées entre espèces.

Tableau 1 : Répartition des traits par branches

Branche	Nombre de traits
Croissance	28
Qualité des carcasses	36
Qualité des viandes	47
Tissu adipeux	28
Biologie du muscle	89

Tableau 2 : Répartition des traits par espèces

Espèce	Nombre de traits
Bovin	212
Truite	209
Poulet	212
Porcin	219
Ovin	213
Lapin	207

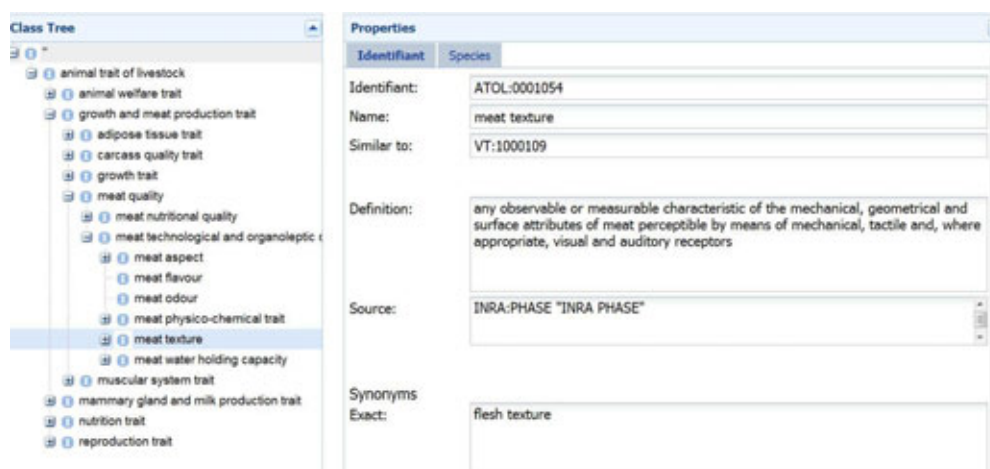


Figure 1 : Exemple de structuration d'un trait dans ATOL (meat texture), visualisation avec l'interface Web Protégé

Conclusions

ATOL doit permettre une annotation des bases de données phénotypiques à partir d'un langage commun dont chaque terme est univoque. Une telle standardisation est notamment nécessaire pour faire des méta-analyses et de la modélisation. Cette ontologie permettra également de faire de la recherche sémantique où cette fois ce ne sont plus uniquement les mots clés qui seront recherchés mais également leurs synonymes et leurs descendants dans la hiérarchie. De nouveaux produits animaux seront abordés comme les œufs et le foie gras. Enfin le développement en parallèle d'une ontologie des conditions environnementales d'élevage (EOL) permettra de mieux prendre en compte les effets de l'environnement dans la construction des phénotypes.

Ce travail a été conduit avec le soutien financier du département INRA PHASE et de l'Europe FP7 Projet AQUAEXCEL

Hocquette J.F., Capel C., David V., Guéméné D., Bidanel J., Ponsart C., Gastinel P.L., Le Bail P.Y., Monget P., Mormède P., Barbezant M., Guillou F., Peyraud J.L., 2012. Anim. Sci. J. 83(7), 517-528
 Hughes M., Bao J., Hu Z.L., Honavar V., Reecy J.M., 2008. J. Anim. Sci., 86 (6), 1485-1491.

EVALUATION SENSORIELLE DE VIANDES ISSUES DE RACE GASCONNE : UNE COMPARAISON DANS LES REGIONS FRONTALIERES AU NORD ET SUD DES PYRENEES.

SANS P.¹, PANELLA-RIERAN.², KHLIJI S.², GIL M.², BLANCH M.², CAMPO MM.³, SAÑUDO C.³, SANJUAN A.I.⁴, OLIVER M.A.²

¹ Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse et INRA-Aliss UR1303, BP 87614 31076 Toulouse, France

² IRTA-Monells, Finca Camps i Armet, 17121 Monells, Espagne

³ Universidad de Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, Espagne

⁴ CITA, Avda. Montañana, 50059 Zaragoza, Espagne.

Abstract: Sensorial analysis of Gascon breed meat: a comparison between North and South Pyrenean borders regions

Due to the implantation of Gascon breed in Spain over the last thirty years, exchanges between breeders of both countries have been developed. This study aims to evaluate the acceptability of Gascon breed meat produced in Pyrénées borders regions. 604 consumers living in four regions (Catalogne, Aragon, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon) were invited, by the mean of hedonic sensorial analysis, to evaluate four types of meat in laboratory conditions: young Gascon bulls (JBG), Gascon bulls (GB), Gascon cull cows (VRG) and young Friesian bulls (JBH). Results show that consumers prefer BG type, before JBH, JBG and VRG. Nevertheless, differences among regions exist probably due to cultural habits regarding meat consumption. By demonstrating that “non-usual” products can be accepted by consumers of both countries, this study provides some relevant keys to enhance market flows between the Pyrenean border regions.

Introduction:

Depuis le début des années 1980, la race bovine gasconne s’est implantée en Espagne. On compte actuellement environ 5 500 têtes dont 2 500 femelles de plus de 2 ans. Sous l’impulsion de l’organisme gestionnaire de la race en France, des relations se sont instaurées entre les éleveurs installés sur les deux versants des Pyrénées et l’accroissement des volumes d’animaux (maigres ou finis) échangés est un objectif. C’est la raison pour laquelle une étude a été menée, dans le cadre d’un programme Poctefa portant sur cette race, afin de déterminer l’acceptabilité sensorielle des types d’animaux gascons produits dans les régions transfrontalières et de la situer par rapport à une viande couramment rencontrée sur le marché.

Matériel et méthode:

Six cent trois (603) consommateurs ont été recrutés dans 4 régions frontalières aux Pyrénées : l’Aragon, (n=155, test réalisé à Saragosse), la Catalogne (n=147, Barcelone), le Languedoc-Roussillon (n=150, Perpignan) et Midi-Pyrénées (n=151, Toulouse). L’échantillon par pays est représentatif de la population de chaque pays sur les critères âge et sexe. Tous ses membres sont des consommateurs réguliers de viande bovine. Soixante (60) animaux ont été prélevés. Quarante-cinq (45) d’entre eux appartiennent aux types commerciaux d’animaux de race gasconne les plus répandus dans les deux pays : 15 jeunes bovins gascons de type *ternera* (JBG ; 278.3 ± 20.7 kg carcasse, 10-11 mois d’âge) produits en Catalogne, 15 jeunes bovins gascons de type *añojo* (BG ; 315.4 ± 22.5 kg carcasse, 12-14 mois) produits en Aragon et 15 vaches de réforme gasconnes (VRG ; 317.5 ± 27.1 kg carcasse, 3-8 ans) produites en Midi-Pyrénées. Quinze jeunes bovins de race Prim’Holstein (JBH ; 255.6 ± 5.8 kg carcasse, 10-12 mois) produits en Catalogne ont été prélevés à titre de témoin, s’agissant d’une catégorie commerciale très répandue en Espagne.

Le muscle *Longissimus lumborum* a été retiré sur chaque demi-carcasse depuis la 13^{ème} vertèbre costale jusqu’à la dernière lombaire. Les muscles ont subi une maturation sous-vide à 4°C à l’abri de la lumière. Les durées de maturation retenues sont celles habituellement pratiquées pour les catégories considérées dans chaque pays (7 jours pour JBG, GB et JBH et 14 jours pour VRG). A la fin du processus de maturation, chaque muscle a été découpé en 4 échantillons de 2 cm d’épaisseur qui ont été identifiés et congelés (à -20°C) sous vide. Chacun des 4 échantillons a été utilisé pour la réalisation du test dans une ville : après décongélation à 4°C pendant 24h, le muscle a été cuit sur un grill double plaques à une température à cœur de 70°C (en Espagne) et de 58°C (en France). Chaque échantillon a été découpé en 10 morceaux, enveloppé dans du papier aluminium après cuisson et maintenu au chaud avant service. Lors de chaque session, 10 à 12 consommateurs ont évalué 4 morceaux de viande (un par type commercial) présentés dans un ordre aléatoire et sans connaissance du type consommé. Ils ont noté sur une échelle d’intensité (de 1 “je n’aime pas du tout” à 9 “j’aime énormément”) l’acceptabilité générale, la tendreté et la flaveur de la viande. Le niveau intermédiaire (note 5) n’était pas présent sur l’échelle afin de “forcer” les consommateurs à prendre position (Guerrero, 1999).

Les données ont été analysées à l’aide du logiciel Stata v11. Des tests de comparaison de moyennes entre régions et entre types de produits ont été réalisés.

Résultats et discussion :

Tableau 1 : Notes moyennes (moyenne $\pm$ écart-type.) d'acceptabilité des quatre produits par région.

Types commerciaux ¹	Catalogne	Aragon	Midi-Pyrénées	Languedoc-Roussillon	Ensemble
JBG	6,48 $\pm$ 1,58 ^a	6,34 $\pm$ 1,83 ^a	5,98 $\pm$ 2,22 ^b	6,45 $\pm$ 2,05 ^a	6,31 $\pm$ 1,94
BG	6,76 $\pm$ 1,43 ^a	6,49 $\pm$ 1,50 ^{ab}	6,12 $\pm$ 2,04 ^b	6,30 $\pm$ 2,06 ^b	6,42 $\pm$ 1,79
VRG	6,41 $\pm$ 1,70 ^a	6,12 $\pm$ 1,90 ^a	5,95 $\pm$ 2,10 ^b	6,00 $\pm$ 2,26 ^a	6,12 $\pm$ 2,00
JBH	6,58 $\pm$ 1,74 ^a	6,34 $\pm$ 1,90 ^a	6,01 $\pm$ 2,20 ^b	6,42 $\pm$ 1,92 ^a	6,34 $\pm$ 1,95
Ensemble	6,56 $\pm$ 1,62 ^a	6,32 $\pm$ 1,79 ^b	6,02 $\pm$ 2,13 ^c	6,29 $\pm$ 2,08 ^b	

¹ JBG : jeunes bovins gascons de type *ternera* ; BG: jeunes bovins gascons de type *añojo* ; VRG: vaches de réforme gasconnes ; JBH: jeunes bovins de race Prim'Holstein.

^{a,b} Les moyennes suivies d'une lettre distincte d'une colonne à l'autre, pour un type commercial donné, sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

En moyenne pour l'ensemble des quatre régions, le produit le plus apprécié est le type BG (*añojo*) : il arrive en tête dans 3 régions sur quatre, seuls les consommateurs de la région Languedoc-Roussillon lui préférant les types JBG et JBH (Tableau 1). La vache de réforme gasconne (VRG) obtient la note moyenne la plus basse : elle est le type le moins apprécié dans les quatre régions. L'acceptabilité est très fortement corrélée aux deux autres paramètres mesurés (tendreté et goût) : tous produits confondus, les coefficients de corrélation varient entre 0,77 et 0,81 pour la tendreté et entre 0,75 et 0,83 pour le goût. Des valeurs similaires sont observées si on compare les différents produits toutes régions confondues. Ces valeurs moyennes pour un type commercial donné masquent une hétérogénéité assez forte des appréciations selon l'échantillon testé (parmi les 15 utilisés par type) et des notes attribuées à un même échantillon selon les consommateurs (Tableau 2).

Tableau 2 : Variabilité des moyennes et des notes attribuées selon le type commercial.

Types commerciaux ¹	JBG	BG	VCG	JBH
Moyenne de l'échantillon le moins apprécié	5,02	5,82	5,40	4,67
Notes la plus basse et la plus haute de cet échantillon	1 - 8	1 - 9	1 - 9	1 - 9
Moyenne de l'échantillon le plus apprécié	7,36	6,83	6,62	7,37
Notes la plus basse et la plus haute de cet échantillon	4 - 9	2 - 9	3 - 9	2 - 9

¹ JBG : jeunes bovins gascons de type *ternera* ; BG: jeunes bovins gascons de type *añojo* ; VRG: vaches de réforme gasconnes ; JBH: jeunes bovins de race Prim'Holstein

L'analyse des résultats par région montre des différences notables (Tableau 1) : les notes du panel de Midi-Pyrénées sont significativement plus faibles que celles des trois autres pour les types JBG, VRG et JBH et des régions espagnoles pour le type BG. Par ailleurs, l'écart-type de ce panel (ainsi que, dans une moindre mesure de celui de Languedoc-Roussillon) est supérieur à ceux observés pour les régions espagnoles. Dans la mesure où les échantillons consommés provenaient des mêmes animaux et qu'un protocole unique a été mis en œuvre dans les quatre villes, on peut émettre deux hypothèses, non exclusives : a) ce panel est plus sévère et plus discriminant ; b) les habitudes de consommation de la viande ont conduit certains membres du panel à juger plus sévèrement en raison d'une insatisfaction quant au degré de cuisson. Ce paramètre est probablement moins sensible dans les trois autres régions dans la mesure où la consommation d'animaux plus jeunes s'accompagne généralement de modes de cuisson plus homogènes.

Conclusions

La particularité du panel « Midi-Pyrénées » rend difficile l'interprétation d'ensemble. Cependant, on observe que des types peu consommés dans le Nord-Est de l'Espagne sont appréciés (ex : VRG en Catalogne). Il en va de même pour les jeunes bovins de type *añojo* en région Languedoc-Roussillon et, dans une moindre mesure, en Midi-Pyrénées. Ces résultats devront être confirmés afin de servir de base à la promotion de ces produits de part et d'autre des Pyrénées.

Guerrero, L. (1999). Estudios de consumidores: análisis de los errores más habituales. In T. C. A. Almeida, G. Hough, M. H. Damasio, & M. A. A. da Silva (Eds.), *Avances en Análisis Sensorial* (pp. 121–129). Sao Paulo: Ed. Varela.

Les auteurs remercient les abattoirs et les producteurs pour leur collaboration, ainsi que M^a José Bautista Martínez et Agustí Quintana pour leur aide technique. Cette étude a été financée par le programme POCTEFA OTRAC 88/08.

ANALYSE DES PERFORMANCES A L'ABATTAGE DE BOVINS DE QUATRE LABEL ROUGE EN AQUITAINE

DAUVERGNE A.^{1,2}, PALLAVIDINO F.³, DAUBA A.², BESSOUAT F.⁴, LAVIGNE S.⁵, JACOB H.⁶,
ELLIES-OURY M.P.⁶

¹ GIE Herbivores Aquitaine, Europarc, 3 bis avenue Léonard de Vinci, F-33 608 Pessac Cedex

² Association Bœuf Blond d'Aquitaine, Europarc, 3 bis av. Léonard de Vinci, F-33 608 Pessac Cedex

³ Association pour la défense du Bœuf de Bazas, 2 Lagrange Est, F-33 430 Bazas

⁴ Association Bœuf de Chalosse, 75 route de Mugron, F-40 250 Lourquen

⁵ Association Produits Terroirs du Sud Ouest, Coop. Lur Berri, Route de Sauveterre, F-64 120 Aicirits

⁶ Bx Sciences Agro, DNSFA, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40 201, F-33 175 Gradignan Cedex

Abstract: Slaughter performances of beef from 4 Label Rouge in Aquitaine

This publication deals with the simultaneous analysis in four Label Rouge specifications for beef production and slaughter performances of animals labels in 2011. The study reveals that required conditions are not very different from a Label Rouge specification to the other one. Except the Label Rouge "Boeuf de Chalosse" where steers represent a significant higher proportion of slaughtered animals, in the three other Label Rouge, the "average animal" could be defined as a Blonde d'Aquitaine cull cow, slaughtered between 4 and 7 years with a carcass weight ranged between 420 and 540 kg and a U3 conformation score (EUROP).

Introduction

L'Institut National de l'Origine et de la Qualité (INAO) a récemment proposé de nouvelles orientations concernant la manière d'évaluer et de suivre la qualité supérieure des produits Label Rouge (LR). C'est dans ce cadre, que les quatre Organismes de Défense et de Gestion (ODG), responsables des productions en Label Rouge Viande Bovine en Aquitaine (BBA : Bœuf Blond d'Aquitaine LA 17.91 ; BE : Bœuf excellence LA 09.02; BCamp : Bœuf de nos campagnes LA 12.97; BCha : Bœuf de Chalosse LA 18.91) se sont regroupés au sein du Groupement d'Intérêt Economique Herbivores Aquitaine en vue de mettre en œuvre une méthode commune d'évaluation de la qualité supérieure des LR. L'objectif de ce travail a été, après étude des différents cahiers des charges, de déterminer la carte d'identité des « animaux moyens », représentatifs de chacun des labels.

Matériel et Méthodes

Pour chacun des quatre LR, les cahiers des charges et les performances d'abattage de l'ensemble des animaux Label abattus en 2011 ont été étudiés, afin de déterminer une « animal moyen » pour chacun de Label. La base de données fournie par chacun des ODG comportait les informations suivantes : numéro de l'animal, numéro de l'éleveur, date de naissance et d'abattage, poids carcasse froid, conformation et état d'engraissement (EUROP), race des parents, race, sexe et catégorie (vache, génisse, bœuf) de l'animal.

Résultats et Discussion

Les LR Viande Bovine d'Aquitaine portent sur trois catégories d'animaux finis, issus de troupeaux allaitants, les plus susceptibles de garantir la qualité des viandes et notamment la tendreté, à savoir les génisses, les bœufs et les vaches de moins de 10 ans. Cependant, ces trois catégories ne sont pas représentées de manière équivalente (Tableau 1). Au-delà de cette observation générale, il existe des proximités entre les animaux labellisés par chacun des LR (Roche et al., 2000) mais également des écarts notamment en termes de poids minimum, qui révèlent des stratégies de commercialisation diversifiées. Les LR raciaux nationaux (BBA et BE) sont en effet positionnés de façon significative sur le marché GMS alors que les LR-BCha et BCamp commercialisent à plus de 95 % leurs carcasses en boucheries traditionnelles (Chambre d'Agriculture d'Aquitaine, 2012). Le label le plus restrictif semble être le LR-BE, les gammes de poids, d'âge et de conformation des animaux du LR-BE étant incluses dans celles, plus larges du LR-BBA, justifiant en partie le nombre d'animaux labellisés en 2011 dans chacun de ces deux labels : 4536 animaux en BBA et 839 en BE. Si les bœufs sont susceptibles d'être labellisés dans chacun des LR, ils représentent une part anecdotique voire nulle des animaux labellisés en BBA et BE (chiffres 2011 : 0/839 en BE, 6/4530 en BBA) et seulement 13 à 15 % des animaux labellisés en BCha et BCamp (respectivement 200/1510 en BCha et 28/196 en BCamp), proportion qui tend à diminuer au fil du temps (28 % de bœufs en BCha en 2000 ; Association Bœuf de Chalosse, 2002). Ces bœufs sont majoritairement de race Limousine (85,5 % et 78,6 % respectivement en BCha et BCamp) tandis que les femelles sont principalement Blondes d'Aquitaine (81,4 et 93,1 % respectivement en BCha et BCamp). La note d'état 4, acceptée en LR-BE, BCha et BCamp est rarement présente dans les fichiers abattoir (22 femelles sur 6879 et 25 mâles sur 206). On la retrouve rarement sur des animaux Blancs (77% des femelles et 92% des mâles notés 4 sont Limousins), en lien avec

le caractère tardif du génotype Blond d'Aquitaine (Geay, 1986) qui conduit à des pourcentages de gras de carcasse faibles. La femelle moyenne est assez proche d'un label à l'autre (Tableau 2). Globalement, tous les labels se retrouvent dans un animal moyen qui serait une vache Blonde de 420-540 kg de carcasse (Figure 2), abattue entre 4 et 7 ans (Figure 1), conformée U3. Néanmoins, chaque label garde ses spécificités : les labels Blonds (BE et BBA) sont caractérisés par des animaux abattus légèrement plus jeunes (respectivement 54 et 56 mois) que les deux autres labels (respectivement 59 et 61 mois pour BCha et BCamp). Une variabilité légèrement supérieure des poids de carcasse est mise en évidence dans les labels BCha et BCamp, en lien avec l'hétérogénéité pondérale des races présentes dans ces labels (le poids moyen de carcasse des Blondes étant supérieur de plus de 40 kg à celui des Limousines). Les mâles ne prennent une place significative que dans le label BCha (Tableau 3). L'animal moyen correspond alors à un bœuf Limousin de 480-520 kg, abattu entre 3 et 4 ans, conformé U3.

Tableau 1 : Caractéristiques des animaux et des carcasses éligibles pour la labellisation dans les cahiers des charges

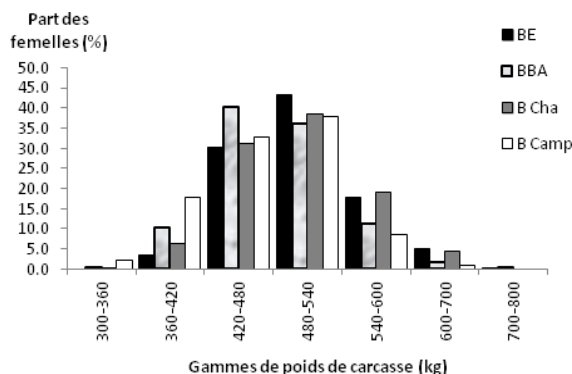
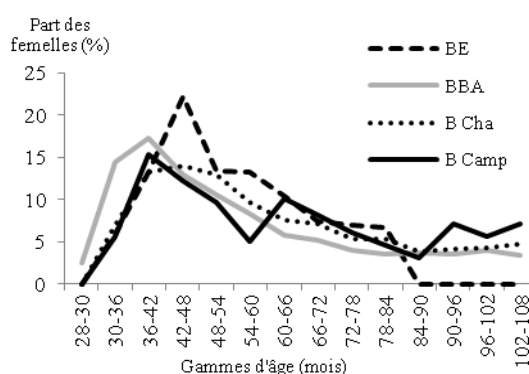
Label rouge	Génotype	Catégorie, Gamme d'âge et Poids carcasse minimum	Gamme de conformation (EUROP)	Gamme d'état (entre 1 et 5)
BBA	Blonde d'Aquitaine	Femelles de 28 à 108 mois, Génisses > 300 kg – Vaches > 320 kg Bœufs > 30 mois et 340 kg	E-U-R	2-3
BE	Blonde d'Aquitaine	Femelles de 30 à 84 mois, Génisses > 380 kg – Vaches > 400 kg Bœufs de 30 à 60 mois > 400 kg	E-U	2-3-4
BCamp	Blonde d'Aquitaine, Limousine, Bazadaise, Croisements entre ces races	Génisses de 30 à 48 mois > 300 kg Vaches de 36 à 108 mois > 300 kg Bœufs de 30 à 60 mois > 380 kg	E-U-R	2-3-4
BCha	Blonde d'Aquitaine, Limousine, Bazadaise, Croisements entre ces races	Femelles de 30 à 108 mois, Génisses > 300 kg – Vaches > 320 kg Bœufs > 32 mois et 350 kg	E-U-R	2-3-4

Tableau 2 : Performances à l'abattage des femelles abattues en 2011 dans les quatre Labels

Label rouge	Nombre d'animaux	Poids moyens	Ages moyens	Conformation			Etat		
				E	U	R	2	3	4
BBA	4530	482,3 ± 51,6 kg	56,0 ± 21,7 mois	0,3%	73,6%	26,1%	1,9%	98,1%	-
BE	839	505,2 ± 52,6 kg	54,0 ± 13,5 mois	0,3%	99,7%	-	1,0%	98,8%	0,2%
BCamp	196	470,5 ± 56,2 kg	63,9 ± 22,2 mois	-	100%	-	pas d'information		
BCha	1510	499,4 ± 55,5 kg	61,0 ± 21,1 mois	0,1%	77,5%	22,4%	3,9%	94,8%	1,3%

Tableau 3 : Performances à l'abattage des mâles castrés abattus en 2011 dans les différents Labels

Label rouge	Nombre d'animaux	Poids moyens	Ages moyens	Conformation			Etat		
				E	U	R	2	3	4
BBA	6	491,5 ± 83,3 kg	64,5 ± 19,8 mois	-	67,0%	33%	-	100%	-
BCamp	28	539,9 ± 77,5 kg	43,3 ± 4,8 mois	-	100 %	-	pas d'information		
BCha	200	540,0 ± 60,9 kg	45,5 ± 7,5 mois	-	68,5%	31,5%	2,0%	85,5%	12,5%



Figures 1 et 2 : Répartition des femelles des quatre labels selon leur âge à l'abattage et leur poids de carcasse

Conclusion

Les animaux moyens ont été identifiés dans chacun des labels, les travaux se poursuivent maintenant par la caractérisation physico-chimique et sensorielle des viandes de ces animaux. En parallèle, leur comparaison avec celles d'animaux non Label Rouge permettra de prouver leur supériorité sensorielle.

Les auteurs remercient les experts des quatre filières engagées dans ce travail pour leur intérêt et leur disponibilité.

Association Bœuf de Chalosse, 2002. In : Assemblée générale Ordinaire et extraordinaire, 23p.

Chambre d'Agriculture d'Aquitaine, 2012. Inventaire dynamique des signes d'identification de la qualité et de l'origine, 100p.

Geay Y., 1986. In D. Micol (Ed). Production de Viande Bovine. INRA, Paris, 151-168.

Roche B., Dedieu B., Ingrand S., 2000. Rencontres Recherches Ruminants, 7, 259-262.

EVALUATION DE L'IMPACT DE LA FILIERE DE PRODUCTION PORCINE SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES JAMBONS DE L'IGP (INDICATION GEOGRAPHIQUE PROTEGEE) JAMBON D'ARDENNE

DZAOMUHO P., ELOUNDOU MBALLA P., MABON N., SINDIC M.

Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire de Qualité et Sécurité des Produits Agro-alimentaires
Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique

Abstract: Impact assessment of pork production sector on characteristics of Belgian Ardenne ham.

The aim of this study is to evaluate the influence of pork production sector on technological behavior of raw material, properties of the ham final product and consumer preferences. An experimental manufacturing assay of Ardenne Ham has been conducted for this purpose. Results show few incidence of pork production conditions on technological properties and chemical or sensory characteristics of hams. The preference tests, carried out with a sensory panel using several criteria, showed that consumers were able to distinguish two groups of hams, according to their fat content. They have a preference for lower-fat ham from one of the studied sectors. Method of multicriteria decision shows no overall preference for one of the submitted ham.

Introduction

Le jambon répondant à l'IGP Jambon d'Ardenne est un jambon sec, souvent fumé, emblématique du sud de la Belgique. Cette appellation est protégée depuis 1996. Les caractéristiques sensorielles d'un tel jambon sont fortement liées à la qualité de la matière première utilisée (Buscaillon *et al.*, 1994). Selon Monin (2000), les facteurs de production de la viande (génétique animale, conditions d'élevage et d'abattage) peuvent avoir une influence notoire sur ses caractéristiques (adiposité, fibrosité, couleur, tendreté, pouvoir de rétention d'eau...) et sur celles des produits transformés. Cependant, une sélection rigoureuse des jambons frais, basée sur des critères précis, reste indispensable pour limiter la variabilité des caractéristiques chimiques et sensorielles du produit final. D'après Buscaillon *et al* (1994), un paramètre tel que le pH ultime conditionne certaines propriétés de la viande comme sa couleur, son pouvoir de rétention d'eau et son aptitude à absorber le sel. Conscient de l'importance d'un choix rigoureux de la matière première, ce secteur de transformation a consigné dans un cahier des charges les différents critères de sélection des jambons frais (pH, épaisseur de gras...). Néanmoins il affiche également la volonté d'évaluer l'influence des facteurs de production de la viande porcine sur ses propriétés technologiques, sur les caractéristiques sensorielles du produit final et l'appréciation des consommateurs.

L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'influence de la filière de production sur le comportement technologique de jambons frais sélectionnés, ainsi que sur la composition chimique et les caractéristiques sensorielles du produit final. Leur incidence sur les préférences des dégustateurs a également été analysée.

Matériel et Méthodes

Fabrication expérimentale de jambons de l'IGP Jambon d'Ardenne

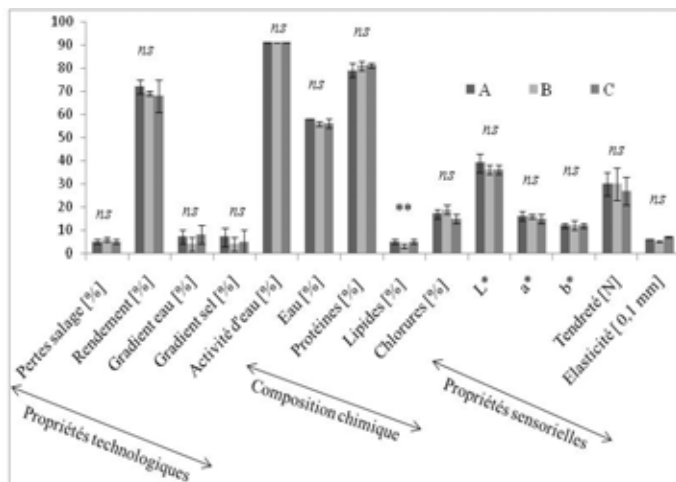
Un plan d'expérience à 2 facteurs fixes (filière de production et classe de pH musculaire) a été mis en œuvre. Le 'facteur filière' compare 3 niveaux retenus par les transformateurs : 1 filière industrielle porcine 'classique' (filière A), 2 filières de 'qualité différenciée' (filières B et C) dont le cahier des charges est sujet à une réglementation régionale. Les filières B et C doivent répondre à des exigences supplémentaires en matière de génétique animale, de conditions d'élevage, de paramètres d'abattage, de critères technologiques (pH_i et pH_u) et sensorielles de la viande produite (blancheur des gras, teneur en viande...). Le 'facteur pH' comprend 2 niveaux de valeurs de pH [5,6-5,8] et [5,8-6,0]. Une transformation de 42 jambons frais sélectionnés, en jambons répondant à l'IGP Jambon d'Ardenne, a été effectuée. La sélection de la matière première se fait par une mesure du pH au centre du muscle *Adductor*. La perte de poids de la matière première a été évaluée durant le procédé de fabrication. La caractérisation des produits transformés a été réalisée au terme de la fabrication. Elle comprend des analyses de composition chimique (teneur en eau selon la norme AFNOR NF V04-401, teneur en lipides selon la norme AFNOR NF V04-402, teneur en protéines selon la norme AFNOR NF V04-407, teneur en chlorures selon la norme AFNOR NF V04-405), des mesures instrumentales de qualité (couleur par spectrophotométrie, texture par une méthode d'analyse de profil de texture), la mesure de l'activité d'eau, la détermination de gradients de teneur en sel et en eau sur une tranche et des analyses sensorielles par un jury de dégustateurs (tests de discrimination selon la norme ISO 4120:2004, tests de préférence par paire selon la norme ISO 5495:2005 et tests de classement par rang selon la norme ISO 88587:2006. Il a été demandé au jury 5 classements distincts par rang selon 5 critères sensoriels (aspect, saveur, odeur, arômes et texture). Pour chaque épreuve de classement de classement, une sélection précise de 3 jambons a été réalisée (pH ultime proche ou même filière de production).

Méthodes d'analyse des résultats

Les résultats ont été analysés à l'aide de tests non paramétriques (Test de Scheirer-Hay-Hare, Test de Friedman, Test Khi-deux). Les tests de classement selon plusieurs critères ont été analysés à l'aide de techniques d'aide multicritère à la décision (Lavialle *et al.*, 1990).

Résultats et Discussion

Les résultats relatifs à l'étude de l'influence de la filière de production et une illustration de l'intérêt de sélectionner la matière première dans une gamme étroite de pH ultime sont repris respectivement dans les **Figures 1 et 2**. Il y a absence d'interactions entre les facteurs expérimentaux étudiés pour l'ensemble des paramètres considérés ($p > 0.06$).



ns : non-significatif ; * : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$

Figure 1 : comparaison des filières A, B, C

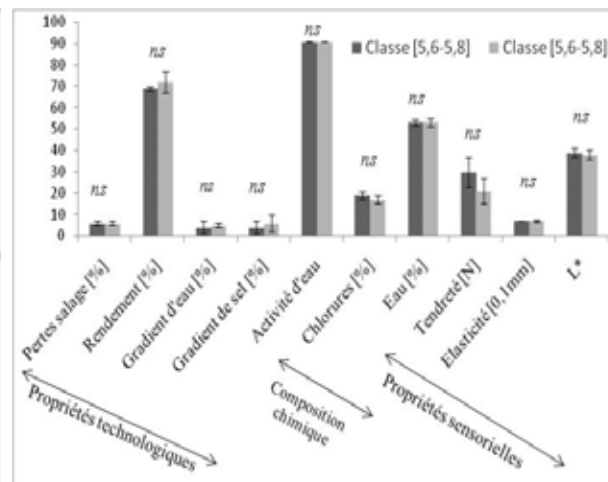


Figure 2 : comparaison des classes de pH

Les viandes provenant de la filière B présentent des pertes au salage plus importantes. Les tranches, de jambons fabriqués à partir de ce type de viande, ont des gradients en eau et en sel au niveau de la tranche moins importants, la teneur en chlorures la plus élevée et la teneur en lipides la plus faible. A l'exception des teneurs en lipides ($p < 0.01$), ces différences ne sont toutefois pas statistiquement significatives ($p > 0.15$). Les viandes de la filière B ont un comportement technologique légèrement différent, qui peut être lié à leur teneur en lipides plus faible. Selon Buscaillon (1994), les lipides constituent en effet un frein aux phénomènes de transferts d'eau et de sel se déroulant durant le procédé de transformation d'un jambon sec. Les jambons fabriqués à partir de viandes de la filière C ont une teneur en chlorures moins élevée, une tendreté plus faible et une élasticité plus importante. Les différences restent cependant non-significatives ($p > 0.06$). La différence de texture de ces jambons peut être liée à leur faible teneur en chlorures. Selon Buscaillon (1994), la teneur en chlorures d'un jambon sec est inversement proportionnelle à l'activité protéolytique de ses enzymes musculaires. Une protéolyse musculaire trop importante engendre une forte souplesse texturale (Buscaillon *et al.* 1994). Les jambons dont le pH de la matière première est plus faible ont une teneur en chlorures plus élevée, une tendreté plus importante et une élasticité plus faible. D'après Buscaillon *et al.* (1994), une viande à pH faible absorbe mieux le sel. Le pH de la matière première initiale peut expliquer les différences de teneurs en chlorures. Les différences texturales observées entre les différents types de jambons, semblent liées à leur teneur en chlorures pour des raisons déjà évoquées (Buscaillon *et al.*, 1994). Les résultats, non publiés, des tests de discrimination sensoriels des jambons fabriqués montrent des différences hautement significatives entre les filières A et B ($p < 0.01$), des différences significatives entre B et C ($p < 0.05$), mais aucune différence significative entre les filières A et C ($p > 0.05$). L'analyse des résultats, non présentés, des tests de préférence selon l'aspect visuel, place les jambons provenant de la filière A devant les autres ($p < 0.01$). Ce classement semble lié à leur aspect moins gras. Les dégustateurs n'ont pas de préférence particulière pour des jambons dont le pH de la matière première appartient à une des deux classes de pH. L'agrégation des préférences sensorielles individuelles des dégustateurs en une préférence globale, à l'aide de techniques d'aide multicritère à la décision, n'a pas permis d'établir une préférence pour un type de jambon spécifique.

Conclusion

Cette étude met en évidence la très faible influence des filières de production de viande porcine sur leurs propriétés et celles du jambon qui en est issu. Les dégustateurs, bien que n'ayant pas de préférence globale intégrant l'aspect, la saveur, les arômes, l'odeur et la texture s'orientent plus facilement vers des produits d'aspect moins gras. L'évaluation de l'incidence de la teneur en lipides des viandes sur les propriétés technologiques et sensorielles du Jambon d'Ardenne est une piste à poursuivre pour affiner les déterminants de la qualité du produit final, en fonction des attentes des consommateurs.

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Service Public de Wallonie-DGARNE.

Les auteurs remercient Jérôme Arnould, Nicolas Iokem, Marjorie Servais, Champlon Salaisons sa pour leur assistance technique.

Buscaillon S., Monin G., 1994. Viandes et Prod. Carnés, 15, 39-48.

Degré A., Verhève D., Debouche C., 2002. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 6, 221-230.

Lavialle O., Quannari E.M., Vidal C., 1990. Agrégations. Revue de statistique appliquée, 38, 61-73.

Monin G., 2000. Ciheam, options méditerranéennes.

CARACTERISTIQUES DE LA VIANDE D'AGNEAUX DE RACE BARBARINE EN BERGERIE: INFLUENCE DE LA DURÉE DE LA PÉRIODE DE FINITION ET DU TAUX D'INCORPORATION DE FÈVEROLE

BOUKHRIS H., DAMERGI C.

Institut National Agronomique de Tunis, 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis, Mahrajène, Tunisie

Abstract: Meat characteristic of fat tail Barbary breed lambs: Effect of the finishing period duration and of the incorporation rate of faba bean

In recent years an important objective of Mediterranean farmers has been to promote the use of alternative protein sources, preferably from local feedstuffs, in animal feeding to try to reduce costs. This trial aims to study the effect of two finishing period durations and the effect of two different levels of faba bean in the diet fed to a local Tunisian lamb breed on meat quality. Thirty male of fat tail Barbary lamb breeds were divided into three groups. Each group was offered access to one of three different iso-nitrogen and iso-energetic concentrates, where soya beans were substituted at 0%, 10% or 20% by faba beans cake in diets. Lambs were slaughtered. Color (L, a*, b*), pH and shear force of *longissimus dorsi* muscle were significantly affected by the duration of the finishing period ($p < 0,001$). However, alone, the diet hadn't significant effects. This study showed that, lambs receiving faba bean during all the trial had a meat more red than meat from lambs receiving only soya bean.

Introduction

Dans les zones arides et semi-arides, les besoins protéiques et énergétiques des agneaux engraisés de manière intensive sont généralement satisfaits par le soja et le maïs, en grande partie importé à des coûts élevés. Ces dernières années, l'utilisation de sources alternatives de protéines, des produits alimentaires locaux dans l'alimentation des animaux pour tenter de réduire les coûts s'est développée. La fèverole (*Vicia faba*) est une légumineuse disponible dans la région méditerranéenne et ne coûte pas chère en dépit de sa valeur nutritive relativement élevée. L'utilisation de régimes à base de fèverole pour l'engraissement d'agneau a donné des performances zootechniques et des caractéristiques de viande semblables aux régimes traditionnels basés sur le tourteau de soja (Caballero et al, 1992; Lanza et al, 1999). L'objectif de cet essai a été d'évaluer l'effet de la substitution partielle du tourteau de soja par de la fèverole et de la durée de la période de finition sur la qualité de la viande d'agneaux de race Barbarine.

Matériel et Méthodes

L'expérience a été menée sur une ferme au Nord-Ouest de la Tunisie et a porté sur trente agneaux mâles simples de race Barbarine élevés en bergerie, d'un poids moyen de $32 \pm 1,9$ kg. Les animaux ont été répartis en trois lots homogènes et élevés pendant 75 jours : Un premier lot (F0) fini sur une ration à base de paille de blé à volonté complétement par un concentré à base du tourteau de soja et le deuxième lot (F1) a été complétement par un concentré contenant 10 % de fèverole. Le troisième lot (F2) a été complétement par un concentré contenant 20 % de fèverole. Après 30 jours de finition, cinq agneaux de chaque lot ont été abattus. Un deuxième abattage a été effectué 30 jours plus tard. Les carcasses ont été refroidies à 4°C pendant 24h. Des échantillons du muscle *longissimus dorsi* (LD) ont été prélevés 24 heures *post-mortem*.

pH. Le pH initial (à 45 min après abattage) a été mesuré sur carcasse au niveau du long dorsal entre la 11^{ème} et la 12^{ème} vertèbre, Le pH_u (à 24h) et le pH à 5 jours ont été mesurés sur le muscle (LD) prélevé, à l'aide d'un pH-mètre Hi 8424 micro-computer (HANNA instruments).

Couleur. La couleur a été mesurée après 24h et à 5 jours de maturation sur une section du muscle LD à l'aide d'un chromamètre CR410 de Minolta (CIE-LAB, L, a* et b*).

Force de cisaillement. La force de cisaillement a été mesurée sur des morceaux de viande crue de 1cmx1cmx5cm à l'aide d'un texturomètre TA6XT2i muni d'une lame HDP/BSK. La force est exercée perpendiculairement aux fibres musculaires sur une section de 1 cm² à raison de trois répétitions.

Les données ont été analysées par le logiciel SAS 9,1 selon le modèle GLM à deux facteurs (Régime alimentaire, durée de la phase de finition et Régime alimentaire*durée de la phase de finition).

Résultats et discussion

A la lumière des résultats présentés dans le tableau 1 illustrant l'effet du régime alimentaire et de la durée de la période de finition sur les caractéristiques de la viande des agneaux barbarins, l'incorporation partielle de la féverole dans le régime alimentaire n'affecte pas d'une manière significative le pH, les indices de couleur et la force de cisaillement. L'analyse statistique a montré que la variation du niveau d'incorporation de la féverole de 10% ou de 20% n'affecte pas les caractéristiques de la viande. Ce résultat est conforme à celui prouvé par Lanza et al. (1999). En revanche, la prolongation de la durée de la période de finition se traduit par une diminution du pH_i moyen de 6,57 à 6,38. En outre, le pH ultime des viandes des agneaux qui ont reçu de la féverole est plus faible que celui du lot Témoin. Après maturation, le pH_{J5} moyen du muscle LD des agneaux élevés durant 30 jours est légèrement supérieur à celui des agneaux élevés durant 60 jours (5,73 vs 5,53). La durée de la période de finition n'affecte ni la luminance de la viande ni l'indice du rouge à J1. Par contre, l'analyse montre une augmentation de l'indice b*_{J1} avec la prolongation de la durée de finition. A cinq jours de maturation, la prolongation de la durée de finition rend la viande plus foncée et accroît l'indice du rouge et l'indice du jaune. Le muscle LD des agneaux élevés pendant 30 jours ont une viande plus lumineuse que ceux élevés durant 60 jours (58,55 vs 53,20). De plus, les interactions entre régime alimentaire et la durée de la période de finition sont généralement significatives, ceci peut être expliqué par une variation individuelle des sujets. En revanche, après maturation, ni le régime ni la période n'a pas eu d'effet sur la force de cisaillement. La prolongation de la durée de la période de finition rend la viande plus dure. Les résultats peuvent être attribués au fait que l'incorporation de la féverole se traduit par un ralentissement de la vitesse de maturation de la viande.

Tableau 1 : Effet du taux de féverole dans la ration et de la durée de la période de finition sur les caractéristiques des viandes d'agneaux de race Barbarine

Période de finition	30 jours			60 jours			Effets		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	R	PF	I
pH _i	6,52b	6,42b	6,70a	6,43b	6,35b	6,35b	NS	*	NS
pH _{24h}	5,87	5,85	5,88	5,69	5,74	5,74	NS	NS	NS
pH _{J5}	5,64	5,83	5,71	5,53	5,71	5,52	NS	****	***
L _{24h}	52,91	52,34	53,12	54,95	54,54	52,82	NS	*	NS
a* _{24h}	16,11	17,02	15,54	15,98	16,40	17,32	NS	NS	NS
b* _{24h}	7,17a	6,61a	6,17a	9,20a	9,83a	9,42a	NS	****	****
L _{J5}	58,22	57,99	59,62	54,58	53,87	52,28	NS	****	****
a* _{J5}	11,25	11,91	10,27	13,81a	14,14a	14,93a	NS	****	****
b* _{J5}	7,16	6,82	7,39	9,34	8,93	8,71	NS	****	****
Force 24h (N/cm ²)	81,10a	71,14a	81,69a	40,62b	47,83b	43,76b	NS	****	****
Force J5 (N/cm ²)	38,92b	45,92a	36,06b	37,92b	38,04b	40,44b	NS	NS	NS

R : Régime du lot; **PF :** Durée de la période de finition et **I :** Interaction entre PF et R

NS: non significatif ; *: p<0,05 ; ***: p<0,001 ; ****: p<0,0001.

Conclusion

L'incorporation de la féverole, jusqu'à 20% de la ration de finition, n'affecte pas l'ensemble des caractéristiques de la viande. En revanche, la prolongation de la durée de la période de finition rend la viande plus foncé, plus rouge et caractérisée par un indice du jaune plus élevé. Enfin, la féverole semble ralentir la vitesse de maturation de la viande. Cette étude doit être complétée par des analyses chimiques et histologiques du muscle.

Caballero R., Rioperez J., Fernandez E., Marin M. T., Fernandez C., 1992. *Animal Production*, 54, 441–444.

Lanza M., Pennisi P., Priolo A., 1999. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, 25, 71–79.

EFFET DU SANG RESIDUEL SUR LA QUALITE DE LA VIANDE DE POULET

BOURBAB. M.¹, IDAOMAR M.¹

¹Laboratoire de Biologie et Santé, Université Abdelmalek Essâadi, BP 2121, Tétouan, Maroc

Abstract: The Effects of Residual Blood of Carcasses on Poultry Quality

The objective of this work is to show the effect of residual blood on the quality of chicken meat, work based on the hypothesis that increasing the concentration of residual blood would explain the observed quality degradation by several authors. Chickens were killed with two different types of slaughter: Slaughter without stunning for a maximum flow of blood or bleeding perfect PS, shooting seals slight lead to keep almost all blood from the carcass or bleeding IS flawed. The comparison of results shows that the carcasses bled imperfectly exhibits higher values of colour parameters and pHu and high average number of total aerobic mesophilic flora. Residual blood is responsible for degradation of the meat quality.

Introduction

L'objectif de ce travail est de montrer l'effet du sang résiduel sur la qualité de la viande de poulet. Lorsque les bovins sont abattus, jusqu'à 4,5% du poids vif sont évacués au cours de la saignée (Gunstone, 1980). Warriss (1976) ont montré que chez le poulet de chair 60% du volume sanguin total est perdu lors de la saignée alors que 20 à 25% du sang résiduel reste dans les viscères, 15 à 20% restent dans les os et moins de 10% dans les muscles. Nous avons formulé l'hypothèse suivante : la présence de sang résiduel dans les carcasses pourrait se traduire par une augmentation des micro-organismes et du pH dans les carcasses imparfaitement saignées par rapport aux carcasses parfaitement saignées conduisant à une dégradation de la qualité. Une augmentation de la concentration du sang résiduel pourrait donc expliquer la dégradation de la qualité observée par plusieurs auteurs.

Matériels et Méthodes

Nous avons choisi les poulets comme matériel biologique dans trois types d'analyses : colorimétriques, technologiques et microbiologiques. Les lots de poulets sont abattus différemment avec deux types d'abattage : L'abattage sans étourdissement pour un débit maximum de sang ou saignement parfait (PS), l'abattage par fusil à balle légère de plomb pour garder presque la totalité du sang de la carcasse ou saignement imparfait (IS). L'augmentation des valeurs moyennes estivales enregistrées nous a conduits à chercher l'effet de la saison sur les résultats. Dans la première expérience, 100 échantillons (50 par traitement) sont utilisés pour étudier l'effet du sang résiduel sur la couleur. Dans la deuxième expérience 458 échantillons (229 par traitement) sont utilisés pour étudier cet effet sur le pHu, selon 2 plans expérimentaux : plan expérimental 1 pour l'étude de l'influence du sang résiduel sur le pHu, et plan expérimental 2 pour l'étude du changement d'effectif et du type d'échantillon, les échantillons ayant été prélevés soit à partir de la poitrine soit de la cuisse avec des effectifs variables du nombre des échantillons. Dans la troisième expérience, 80 échantillons (40 par traitement) sont utilisés pour étudier l'effet du sang résiduel sur la qualité microbiologique. La culture a été réalisée pendant 24 heures après l'abattage, la moitié des échantillons ont été conservés à 3 ° C et l'autre à 7 ° C.

Résultats et discussion

Pour les analyses colorimétriques (tableau I), la comparaison de résultats montre que les carcasses imparfaitement saignées présentent une augmentation des moyennes de valeurs pour les paramètres de couleur par rapport aux carcasses parfaitement saignées ($P < 0.01$). Ces résultats suggèrent qu'une mauvaise saignée (IS) augmente l'hémoglobine contenue dans le muscle pouvant pénaliser l'aspect de la viande. Ces résultats sont cohérents avec les observations de nombreux auteurs qui montrent que des hémorragies (résultantes de l'étourdissement électrique) influence la couleur du muscle pectoral de poulet (Alvarado *et al*, 2007 ; Lawrie, 1979 ; Craig & Fletcher, 1997). Les hémorragies résultantes de l'étourdissement électrique ou d'un saignement imparfait augmentent la concentration de l'hémoglobine contenue dans le muscle et de ce fait les valeurs de l'indice de la couleur rouge avec des conséquences en terme organoleptique. Cet effet des résidus de sang peut être aussi constaté chez des espèces autres que les volailles : Lawrie (1958) rapporte que les muscles de couleur sombre du porc dispose de rétention anormalement élevé d'hémoglobine responsable de la création d'un aspect inacceptable de la viande fraîche pour le consommateur. Warriss (1976) et Lawrie (1977)

suggèrent en effet que les viandes contenant des quantités excessives de sang peuvent être inacceptables pour le consommateur d'un point de vue esthétique.

Tableau I : Statistiques descriptives des paramètres de couleur

Variable	A*		B*		L*	
Type d'abattage	PS	IS	PS	IS	PS	IS
Moyenne	8,50	12,68	14,43	16,85	50,27	54,09

Abréviations: (L*) Luminance, (A*) Rouge, (B*) Jaune, (PS) Parfaitement saigné, IS (Imparfaitement saigné).

Le nombre moyen de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) chez les volailles parfaitement saignées est inférieur à celui des volailles imparfaitement saignées. En hiver à 3 ou à 7°C, ces valeurs sont en dessous des normes ISO 4833-2008 (5.10^5 - 5.10^6); En été, seul le stockage à 3 ° C permet de diminuer les valeurs de la FMAT en dessous des normes ISO. Pour les analyses de pHu, les moyennes des viandes de la poitrine et de la cuisse de volaille parfaitement saignées sont toujours plus basses que les moyennes des viandes de volaille imparfaitement saignées. Cette augmentation est susceptible d'avoir un impact sur un grand nombre de paramètres tels que la couleur, les performances technologiques et la texture de la viande (Gigaud *et al.* 2009).

Tableau II : Résultats des analyses microbiologiques et de pHu

SAISON	Hiver				Eté			
C.C.T	3°C		7°C		3°C		7°C	
Type d'abattage	PS	IS	PS	IS	PS	IS	PS	IS
Moyennes	7,05	1,78	6,18	3,60	9,24	4,85	4,62	2,93
FMAT (CFU/g)	$\times 10^2$	$\times 10^4$	$\times 10^3$	$\times 10^4$	$\times 10^2$	$\times 10^4$	$\times 10^6$	$\times 10^8$
Moyenne pHu	5,70	6,08	6,07	6,27	6,12	6,42	6,4	6,6
p (t test)	P <0,001		p<0,015		p<0,015		P <0,001	

C.C.T : Température de conservation avant chaque mesure. FMAT : flore mésophile aérobie totale.

Les différences entre moyennes sont statistiquement significatives (p<0,001 et p<0,015).

Conclusions

L'objectif de cette étude était de comparer les paramètres colorimétriques, microbiologiques et technologiques (cas du pHu) de la viande de carcasses parfaitement saignées et de carcasses imparfaitement saignées. Dans cette étude nous avons montré que le sang résiduel des carcasses est responsable des valeurs élevées de pHu et des valeurs élevées de paramètres de la couleur (L*, A*, B*) ainsi que des valeurs élevées de la FMAT par rapport aux échantillons parfaitement saignés. Le sang résiduel est donc responsable de la détérioration de la qualité de la viande. La maîtrise des facteurs de variabilité qualitative organoleptique, microbiologique et technologique exige un saignement parfait pour satisfaire aux exigences de la qualité.

Nous remercions MR. AARABA de l'I.A.V. à Rabat (Maroc) qui nous a permis l'accès au matériel adéquat.

Alvarado, C. Z., Richards M. P., O'Keefe S. F., Wang H. 2007. Poultry Sci., 86, 156-161.

Craig E. W., Fletcher D. L., 1997. Poultry Sci., 76, 1178-1181.

Craig E. W., Fletcher D. L., Papinaho P. A., 1999. Poultry Sci., 78, 490-494.

Gigaud V., Le Bihan-Duval E., Berri C., 2009. 8^{èmes} Journées de la Recherche Avicole, St Malo (FRA), 2009/03/25-26, 124-131.

Gigaud V., Casenave E., Bordeau T., Baeza E., Berri C., 2010. 13^{èmes} Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont Ferrand, France (page 215).

Gunstone J.W., 1980. Using blood plasma. The National Provisioner. Chicago, Illinois (page 26).

Kranen R.W., Van Kuppevelt T.H., Goedhart H.A., Veerkamp C.H., Lambooij E., Veerkamp J.H., 1999. Poultry Sci., 78, 467-476.

Lawrie R.A. 1979. Meat Sci., Pergamon Press., New York.

Warriss P.D., 1976. Anal. Biochem., 72, 104.

QUALITE DE LA VIANDE DES TAURILLONS HOLSTEIN ABATTUS A DEUX SAISONS DIFFERENTES

SLIMENE A.¹, DAMERGI C.¹, NAJAR T.¹, CHAMMAKHI L.², BEN MRAD M.¹

¹Institut National Agronomique de Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis, Tunisie

²Groupement Interprofessionnel des Viandes rouges et du Lait, 8 Claude Bernard 1002 Tunis, Tunisie

Abstract: Meat quality of Holstein bulls slaughtered at two different seasons

The main objective of this study was to compare meat quality from Holstein bulls slaughtered at two different seasons (winter and summer) under Tunisian conditions. pH value measured one day after slaughter in the summer replicate was significantly higher than that in winter ($p < 0,01$). Meat colour was darker in the summer season compared with winter. The L^* value measured 7 days after slaughter in winter was significantly higher ($p < 0,01$) than in summer (41,5 vs. 36,4). Meat obtained from bulls slaughtered in summer showed higher value of shear force measured at 4 days after slaughter than meat from bulls slaughtered in winter ($p < 0,001$). In conclusion, ageing time of more than 4 days is recommended for meats obtained from bulls slaughtered in summer.

Introduction

La production de viande bovine en Tunisie provient principalement des taurillons de races Holstein, locales croisées et à moindre degré des bovins importés de races à viandes (Limousine, Charolaise, Salers). Le transport et l'abattage des bovins constituent les principaux facteurs de variation de la qualité de la viande bovine destinée à la consommation. En effet, plusieurs travaux de recherche ont démontré l'effet de la durée de transport et de la saison d'abattage sur la qualité de la viande en termes de pH, couleur, capacité de rétention d'eau et tendreté. En Tunisie, les travaux de recherches réalisés dans le domaine de la production de viande bovine n'ont pas traité des aspects en relation avec l'effet de la durée de transport des bovins, de la saison et des conditions d'abattages sur la qualité de la viande destinée à la consommation. L'objectif de ce travail est de comparer la qualité de la viande issue des taurillons de race Holstein abattus à deux saisons distinctes (hiver et été).

Matériel et méthodes

Vingt taurillons de race Holstein proviennent de deux fermes situées à une distance moyenne de 150km de l'abattoir de la société « Ellouhoum », ont été divisés en deux lots de 10 têtes transportés et abattus juste après déchargement en deux saisons différentes (hiver et été). Le premier lot a été abattu durant le mois de juin 2011 alors que le deuxième lot a été abattu durant le mois de janvier 2012. Les taurillons ont été engraisés avec une alimentation à base de foin d'avoine, d'ensilage d'avoine et de concentré. Les animaux avaient un âge moyen à l'abattage de l'ordre de $17 \pm 2,9$ mois et un poids vif moyen de l'ordre de 451 ± 50 kg. Les taurillons sont nés, élevés en Tunisie et n'ont aucun lien de parenté. La sixième côte a été prélevée au niveau de la demi-carcasse gauche et conservée pendant 24h à 4°C. Les mesures de pH, couleur, capacité de rétention d'eau et texture de la viande ont été effectuées sur le muscle *Longissimus thoracis* (LT) de la sixième côte à trois durées de maturation (1, 4 et 7 jours après abattage). La mesure de pH a été effectuée par un pH mètre Hi 8424. La mesure de la couleur a été effectuée avec un Chromamètre Minolta CR 410 en utilisant comme source de lumière le D65 et le système CIELAB ($L^*a^*b^*$). La capacité de rétention d'eau a été mesurée selon la méthode décrite par Hamm (1986). La tendreté de la viande a été mesurée à l'aide du texturomètre TA-XT2i. L'analyse statistique a été effectuée par le logiciel SAS 9.1 version 2002 en utilisant un modèle GLM à un facteur (saison). L'âge à l'abattage a été considéré comme une covariable.

Résultats et discussion

Les valeurs de pH enregistrées pour la viande issue des taurillons abattus en été ont été plus élevées que celles enregistrées durant l'hiver pour les trois durées de maturation, ces différences étant significatives pour les valeurs de pH à 1 jour après l'abattage ($p < 0,01$). Ces constatations sont conformes à celles de Węglarz (2010) qui a rapporté des valeurs de pH à 24h plus élevées chez les taurillons de race Holstein en saison d'été qu'en hiver. En outre, Mach et al. (2008) ont trouvé que la fréquence d'obtention d'un pH à 24h supérieur à 5,8 augmente en été en comparaison avec les autres saisons principalement chez les taurillons de race Holstein en comparaison avec les races à viandes. Un effet significatif de la saison d'abattage sur la couleur de la viande a été observé pour les viandes après une durée de maturation de 7 jours après abattage. La valeur de luminance de la viande issue des taurillons abattus en hiver est plus élevée que celle des animaux abattus en été, ces différences n'étant pas significatives après 1 et 4 jours de maturation. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Marenčić et al. (2012) pour la couleur et le pH de la viande issue des taurillons abattus en hiver et en été en comparaison avec l'automne et le printemps. Les résultats enregistrés dans notre étude ne sont pas conformes à ceux enregistrés par Young et al. (2003) qui ont démontré l'obtention d'une viande de couleur sombre et indésirable pour des taurillons abattus en hiver à des températures inférieures à 5°C. Les indices de

rouge et de jaune ont été pratiquement similaires entre les deux saisons pour les trois durées de maturation de la viande. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative pour ces deux paramètres. Ces résultats ne sont pas en concordance avec ceux rapportés par Węglarz (2010) qui a observé un effet de la saison d'abattage sur les trois indices de la couleur de la viande pour des taurillons de race Holstein. Bien que les valeurs de pH enregistrées pendant l'été soient supérieures à celles de la saison d'hiver aucune différence significative n'a été enregistrée pour la capacité de rétention d'eau entre les deux saisons d'abattage. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés par Florek et al. (2009) qui n'ont trouvé aucune différence significative pour les pertes d'eau en fonction de la saison d'abattage. La texture de la viande a été pratiquement similaire entre saisons, pour les durées de maturation de 1 et 7 jours. La valeur enregistrée pour une durée de maturation de 4 jours a été nettement inférieure pour les viandes issues des taurillons abattus en hiver en comparaison à ceux abattus en été. La tendance enregistrée dans notre étude pour la texture de la viande est similaire à celle trouvée par Florek et al. (2009) pour des durées de maturation de 3 et 7 jours après abattage.

Tableau 1. Caractéristiques de la viande des taurillons abattus selon les deux saisons (moyenne $\pm$ erreur standard).

Paramètre	Hiver (n=10)	Été (n=10)	Probabilité
	1jour après l'abattage		
L*	41,4 ± 1,4	37,8 ± 0,9	NS
a*	23,9 ± 1,0	20,4 ± 0,7	NS
b*	11,1 ± 1,1	8,1 ± 0,4	NS
pH	5,59 ± 0,01	5,84 ± 0,04	**
Capacité de rétention d'eau (%)	21,9 ± 0,4	22,9 ± 0,9	NS
Force de cisaillement (N)	29,2 ± 1,8	34 ± 2,6	NS
	4jours après l'abattage		
L*	40,8 ± 1,3	38,5 ± 0,8	NS
a*	21 ± 1,3	22,4 ± 0,6	NS
b*	8,2 ± 1,1	9,05 ± 0,4	NS
pH	5,69 ± 0,05	5,81 ± 0,05	NS
Capacité de rétention d'eau (%)	22,7 ± 0,5	21,4 ± 0,8	NS
Force de cisaillement (N)	18,1 ± 1,3	29,2 ± 2,1	***
	7jours après l'abattage		
L*	41,5 ± 0,9	36,4 ± 0,8	**
a*	22,6 ± 1	21,86 ± 0,9	NS
b*	9,8 ± 0,8	8,76 ± 0,3	NS
pH	5,73 ± 0,03	5,86 ± 0,04	NS
Capacité de rétention d'eau (%)	21,2 ± 0,8	19,8 ± 0,8	NS
Force de cisaillement (N)	17,8 ± 1	18,3 ± 0,9	NS

*** p<0,001 ; **p<0,01 ; NS : Non Significatif.

Conclusion

Dans cette étude, l'effet de la saison d'abattage dans les conditions tunisiennes affecte essentiellement le pH de la viande à un jour après l'abattage et l'évolution de la couleur après une maturation de 7jours. Les taurillons abattus durant l'été présentent un pH plus élevé que ceux abattus en hiver avec une viande de couleur sombre. La tendreté de la viande semble s'améliorer après 7 jours de maturation après l'abattage durant l'été. Il serait donc adéquat d'accorder plus d'importance aux conditions de transport et d'abattage des taurillons en particulier durant l'été, afin d'améliorer la qualité de la viande.

Florek M., Litwinzuk Z., Skatecki P., 2009. Pol. J. Food Nutr. Sci., 59, 309-314.

Hamm, R. 1986. In P. J. Bechtel (Ed.), Muscle as food (pp. 135–199). New York: Academic Press, Inc.

Mach N., Bach A., Velarde A., Devant M., 2008. Meat Sci., 78, 232-238.

Marenčić D., Ivanković A., Pinti V., Kelava N., Jakopović T., 2012. Arch Tierz., 55, 123-131.

Węglarz A. 2010. Czech J. Anim. Sci., 55, 548-556.

Young S K., Seok K Y., Young H S., Sung K L., 2003. Meat Sci., 63, 509-513.

REVERSIBILITE DES EFFETS D'UNE TEMPERATURE D'ELEVAGE BASSE SUR LE METABOLISME MUSCULAIRE ET LA QUALITE DE LA VIANDE CHEZ LE PORC

FAURE J.^{1,2}, LEFAUCHEUR L.^{1,2}, BONHOMME L.^{1,2}, ECOLAN L.^{1,2}, METEAU K.³, KOUBA M.^{1,2},
LEBRET B.^{1,2}

¹INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles

²Agrocampus Ouest UMR1348 PEGASE, 35000 Rennes

³INRA EASM, Le Magneraud, 17700 Surgères

Abstract Reversibility of cold rearing temperature on muscle metabolic traits and meat quality in pigs

This study aimed at evaluating the influence of cold (C) rearing environment versus thermoneutrality (T) during post-weaning (C: 23°C to 15°C; T: 28°C to 23°C) and growing-finishing periods (C: 12°C; T: 23°C) on pig *Longissimus* muscle metabolism and meat quality, and determining the reversibility of these effects. Three groups of pigs were constituted according to their post-weaning and growing-finishing thermal environments: CC (n=18), CT (n=18) and TT (n=24). Compared with TT, CC pigs had higher glycolytic potential (GP) and lower pHu, higher drip loss, color saturation and intramuscular fat (IMF) content. CT pigs exhibited lower GP and higher pHu but similar colour, IMF and drip as TT pigs. As cellular energy sensor, AMP-activated protein kinase activity was negatively correlated to GP. Cold environment affected appearance (higher redness) and texture (lower fibrousness) of meat and improved pork odor, but did not modify tenderness or juiciness. Most effects of cold environment on muscle and meat traits were reversible.

Introduction

La température d'élevage influence l'utilisation de l'énergie alimentaire et la cinétique des dépôts tissulaires chez le porc (Lefaucheur et al., 1991). Des variations journalières et saisonnières de la température ambiante sont inhérentes aux systèmes d'élevage alternatifs. Elles correspondent souvent à une réduction de la température par rapport à l'élevage conventionnel et peuvent contribuer à modifier les propriétés musculaires et la qualité de la viande (Lebret, 2008). Toutefois l'effet strict de la température froide sur les caractéristiques musculaires et la qualité de viande est peu documenté. Dans le cadre d'une étude plus large portant sur l'influence d'une température d'élevage basse en post-sevrage et en croissance finition sur la croissance, la composition corporelle et l'évolution du métabolisme énergétique musculaire (Faure et al., 2012a), cette communication vise à préciser l'impact de la température sur les propriétés biochimiques du muscle et la qualité technologique et sensorielle de la viande de porc et à en évaluer la réversibilité.

Matériels et méthodes

Animaux. A l'INRA-PEGASE, 84 porcelets (mâles castrés et femelles) ont été répartis intra-portée en deux lots en post-sevrage (PS, 8-25 kg): Froid (F, évolution progressive de la température ambiante de 23°C à 15°C) et Thermoneutre (T, 28°C à 23°C). En fin de PS, 12 porcelets ont été abattus dans chaque lot, 18 porcelets F ont été placés à 12°C (FF) et 18 F et 24 T ont été placés à 23°C (FT et TT, respectivement) jusqu'à l'abattage (115 kg). Les animaux ont été élevés en loge individuelle et alimentés à volonté durant toute l'expérimentation.

Caractéristiques musculaires et qualité de la viande à 115 kg. Des échantillons de muscle *Longissimus* (LL) ont été prélevés immédiatement après abattage pour déterminer le niveau de phosphorylation de l'AMP-activated protein kinase (AMPK), senseur énergétique cellulaire par immunoblotting, et à 30 min *post-mortem* (p.m.) pour la mesure du pH1 et du potentiel glycolytique (PG) (Faure et al., 2012b). Le pH à 24h (pHu), la couleur (chromamètre), les pertes en eau (1 à 4 j) et la teneur en lipides intramusculaires (LIM) ont été mesurés (Faure et al., 2012b). Après maturation (4 j), 11 rôtis représentatifs de chaque lot TT, TF et FF ont été congelés en vue d'analyses sensorielles (12 jurés experts, INRA EASM) portant sur l'aspect cru, la texture et la flaveur de la viande cuite (note de 0 : absence à 10 : élevé).

Analyses statistiques. Les données ont été soumises à une analyse de variance (GLM, SAS) incluant les effets fixes de la température d'élevage, du sexe, du père, de la date d'abattage et de l'interaction température x sexe. Les notes sensorielles individuelles, considérées comme des données répétées, ont été traitées par une analyse en split-plot pour calculer les ls-moyennes incluant les effets juré et session, conduisant à une note par échantillon et par caractère utilisée ensuite dans l'analyse de variance. Des corrélations (Pearson) entre caractères ont été calculées (CORR, SAS).

Résultats et Discussion

La température d'élevage froide conduit à une augmentation du PG et de la teneur en LIM à 115 kg, révélant une modification de la dynamique du métabolisme musculaire au cours de la croissance chez les porcs FF comparativement aux porcs TT (Tableau 1) (Faure et al., 2012 a). En conséquence, le pHu est réduit et les pertes en eau sont accrues chez les porcs FF, alors que le pH1 et la luminance (L*) ne sont pas modifiés en accord avec les relations bien établies entre ces paramètres. Les indices de couleur rouge (a*) et jaune (b*) sont augmentés (données non montrées) entraînant une saturation (C*) plus élevée sans modification de l'angle de teinte (h°) de la viande des porcs FF relativement aux TT.

Tableau 1. Critères de qualité du muscle *Longissimus* (n≥18 par lot)

	Lot			Signification	
	TT	FT	FF	ETR	P
pH 30 min	6.05	6.09	6.07	0.14	ns
pH 24h	5.55 b	5.62 a	5.49 c	0.08	***
Couleur L*	51.9	50.1	52.0	2.7	ns
C*	11.1 b	10.6 b	13.8 a	1.5	***
h°	35.0	33.7	35.1	2.9	ns
Pertes eau, %	3.4 b	3.2 b	4.5 a	1.3	*
PG, µmol/g	150 b	135 c	184 a	16	***
LIM, %	1.54 b	1.59 b	2.12 a	0.43	***

ETR : écart-type résiduel; *** : P<0,001; * : P<0,05; ns : non significatif.

Ces résultats confirment ceux de Lefaucheur et al. (1991) qui rapportent un PG supérieur et un pHu réduit dans le LL de porcs élevés à 12°C vs 28°C et sont en accord avec l'effet généralement observé de la réduction de température ambiante en conditions d'élevage extérieures sur le PG et le taux de LIM du LL, alors qu'une moindre diminution de la température (17°C vs 24°C) n'a pas d'effet sur ces paramètres (Lebret 2008). A l'inverse des porcs FF, les porcs FT présentent un PG réduit et un pHu supérieur comparativement aux TT. Les indices de couleur, les pertes en eau et la teneur en LIM sont équivalents chez les porcs FT et TT. Ceci met en évidence la réversibilité des effets du froid sur le métabolisme musculaire et par suite la qualité technologique de la viande.

L'activité AMPK à l'abattage estimée par son niveau de phosphorylation n'est pas significativement différente entre les 3 lots (P=0,18) mais tend à être réduite chez les porcs FF comparativement aux TT ou FT (Figure 1), suggérant une adaptation du potentiel d'homéostasie musculaire au froid, qui serait réversible en replaçant les animaux à la thermoneutralité. En accord avec la littérature montrant un rôle central de l'AMPK dans la régulation du glycogène et du métabolisme musculaires in vivo et p.m. via une inhibition de l'anabolisme et une stimulation du catabolisme pour restaurer le niveau énergétique cellulaire (Scheffler et Gerrard, 2007), l'activité de l'AMPK est corrélée négativement au PG (r=-0,46, P<0,001) et positivement au pHu (r=+0,30, P=0,024). Ceci confirme des résultats récents montrant que la réduction de consommation alimentaire résiduelle chez le porc est associée à une diminution des capacités métaboliques et d'homéostasie du LL via une moindre activité AMPK et conduit à une augmentation du PG et une altération de la qualité technologique (Faure et al., 2012b). Ainsi l'activité de l'AMPK, senseur énergétique musculaire, peut aussi être considérée comme un indicateur de la qualité ultérieure de la viande.

L'analyse sensorielle (Figure 2) montre que la température d'élevage influence l'aspect de la viande. L'élevage au froid accroît l'intensité de couleur rouge en accord avec les données de C*. Le persillé apparaît plus homogène dans la viande des porcs FF comparativement aux FT et surtout aux TT, et aussi intense que dans la viande des porcs TT malgré leur teneur en LIM plus faible. Le persillé moins homogène des porcs TT a pu influencer la notation de l'intensité de ce caractère. L'élevage au froid conduit à une viande de texture plus farineuse et moins fibreuse, mais ne modifie pas la jutosité ou la tendreté, probablement parce que le taux de LIM certes supérieur des porcs FF reste en deçà de 2,5%, seuil au-delà duquel des effets positifs sont généralement rapportés (Lebret, 2009). L'odeur de porc plus élevée dans la viande des porcs FF et FT relativement aux TT peut résulter de modifications de la nature des LIM au froid (Lebret, 2008) qui influence le développement des composés odorants lors de la cuisson. Toutefois, la saveur de la viande n'est pas significativement modifiée.

Conclusions

L'élevage du porc au froid augmente le PG et les LIM et altère la qualité technologique de la viande. L'impact sur la qualité sensorielle est plus favorable. La réversibilité de la plupart des effets révèle la plasticité du tissu musculaire pendant la croissance.

Les auteurs remercient le personnel de l'élevage et de l'abattoir expérimental de l'UMR PEGASE pour leur participation.

Faure J., Lebret B., Bonhomme N., Ecolan P., Kouba M., Lefaucheur L., 2012a. Proc. 63rd EAAP, Bratislava, Slovakia, pp. 370.

Faure J., Lefaucheur L., Bonhomme N., Ecolan P., Meteau K., Metayer-Coustard S., et al. 2012b. Meat Science doi:10.1016/j.meatsci.2012.07.006.

Lebret B., 2008. Animal, 2(10), 1548-1558.

Lebret B., 2009. Thèse de Doctorat Agrocampus Ouest, 115 p.

Lefaucheur L., Le Dividich J., Mourot J., Monin G., Ecolan P., Krauss D., 1991. Journal of Animal Science, 69, 2844-2854.

Scheffler T.L., Gerrard D.E., 2007. Meat Science, 77(1), 7-16.

Figure 1. Niveau de phosphorylation (Thr172 phospho-AMPKα / total AMPKα), muscle *Longissimus* (n≥18 par lot)

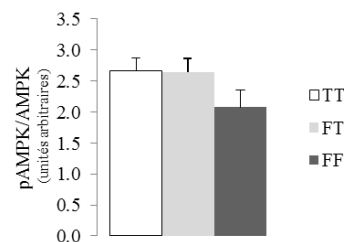
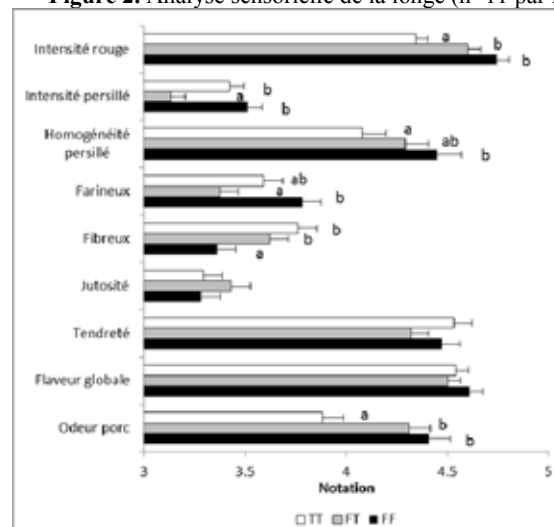


Figure 2. Analyse sensorielle de la longe (n=11 par lot)



LA REPONSE TRANSCRIPTIONNELLE AU STRESS DECORTIQUEE A L'AIDE DE LA BIOINFORMATIQUE

CASSAR-MALEK¹ I., POMIÈS¹ L., de la FOYE¹ A., PICARD¹ B.

¹INRA/ VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

Abstract : A bioinformatic strategy to dissect the stress response in muscles

In order to investigate the response of muscle to stress, the muscle transcriptomes of rats emotionally stressed and cattle emotionally and physically stressed were analyzed using DNA microarrays. Then a data-mining strategy was designed. It includes four steps: (1) looking for genes differentially expressed following stress; (2) seeking promoters of these genes and looking for transcription modules; (3) detecting over-represented modules; (4) building pathways to find common regulators and pathway components.

Four pathways were built (1 for rat and 3 for cattle). They point out that the stress response differs between both species and between both types of stress. In addition, muscle specific responses to stress were identified in cattle. Although expression of only few transcription factors (TF) varied, analysis of the networks suggests that some key TF (e.g. Nrf4a1, ATF3) are likely involved in stress response. These TF may be activated in muscle under stress conditions.

Introduction

Les conditions auxquelles sont soumis les bovins avant l'abattage sont des sources de stress émotionnel et physique pouvant affecter les qualités nutritionnelles et organoleptiques de leurs viandes (Terlouw et al., 2012). Toutefois, les mécanismes biologiques de la réponse au stress sont mal connus. L'objectif de cette étude était d'identifier des gènes musculaire cibles du stress par une stratégie combinant analyses transcriptomique et bioinformatique.

Matériel et Méthodes

Cette étude repose sur l'analyse bioinformatique de jeux de données issus de deux études ayant pour objectif d'analyser l'influence du stress sur l'abondance des transcrits de gènes musculaires chez le rat et chez le bovin. Dans l'expérimentation réalisée chez le rat (Cassar-Malek et al, 2010), les animaux ont été exposés à un stress émotionnel pendant 30 min., à la suite de quoi ils ont été sacrifiés. Une analyse du transcriptome a été effectuée à partir d'un mélange de muscles de la patte à l'aide d'une puce à ADN pangénomique (Opéron). Dans l'expérimentation réalisée chez le bovin (Cassar-Malek et al, 2011), les animaux ont été exposés à un stress émotionnel et physique, lié au transport et aux conditions de manipulation avant leur abattage. L'analyse du transcriptome a été effectuée à partir d'échantillons de muscles *Semitendinosus* (ST) et *Longissimus Thoracis* (LT) à l'aide d'une puce à ADN bovine.

L'analyse bioinformatique a été réalisée en quatre étapes : (1) recherche des gènes dont l'expression est différentielle sous l'effet du stress puis regroupement des gènes selon leur profil d'expression (clustering hiérarchique Permutmatrix) ; (2) recherche des promoteurs et des modules transcriptionnels de ces gènes à l'aide de la suite logicielle Genomatix (www.genomatix.de) ; (3) recherche des modules transcriptionnels sur-représentés dans les gènes différentiels par rapport à l'effectif total des gènes de la puce, grâce au Test exact de Fisher sous R; (4) construction de réseaux d'interactions liant les gènes cibles des modules sur-représentés dans les gènes différentiels grâce à Pathway Studio (Ariadne Genomics).

Résultats et discussion

A partir du jeu de données de l'expérimentation réalisée chez le rat, 117 gènes différentiels ont été détectés (pValue ajustée<0,25) dont seulement 89 avaient un identifiant GenBank. Les séquences de promoteurs de ces gènes ont été analysées dans Genomatix. Vingt modules sur-représentés ont été détectés dans les gènes différentiels (p<0,05). Un réseau d'interaction entre les gènes a été construit avec les modules ciblant au moins 5 gènes parmi les gènes différentiels. Le réseau comporte 3 nœuds principaux, dont l'un est le facteur de transcription Nr4a3.

A partir du jeu de données de l'expérimentation réalisée chez les bovins, 67 gènes ont été déclarés différentiels (pValue ajustée <0,1 pour 80% des différentes sondes d'un même gène) dans le muscle LT et 36 gènes dans le muscle ST en réponse au stress. Les modules transcriptionnels sur-représentés étaient au nombre de 24 dans le LT et de 25 dans le ST. Seuls 9 modules étaient communs aux deux muscles. Des réseaux d'interaction ont été construits entre les gènes cibles des modules sur-représentés dans le LT, dans le ST, et enfin pour les gènes ciblés par les 9 modules sur-représentés à la fois dans les 2 muscles bovins. Dans le LT, le réseau de gènes comportait 6 nœuds principaux, dont 4 étaient des facteurs de transcription. Parmi ceux-ci, ATF3 est connu pour être activé en réponse au stress et MYOD1 est spécifique du muscle. Le réseau construit pour le ST comportait 6 nœuds principaux, dont 4 facteurs de transcription (ATF3, SMAD7, CEBPD, FOS). Le dernier réseau, réalisé à partir des modules communs (Figure 1), comportait 3 nœuds principaux représentés par les facteurs de transcription FOS, ATF3, et CEBPD.

Par cette approche transcriptomique et bioinformatique, nous avons révélé des groupes de gènes cibles de modules transcriptionnels sur-représentés, susceptibles de réguler la réponse au stress dans le muscle. Chez le rat, l'analyse

montre une sur-expression du facteur de transcription Nr4a3 et sa présence à un carrefour clé du réseau de gènes cibles. Ce récepteur orphelin, classé comme un gène à réponse rapide, est une cible de la signalisation β -adrénergique et de l'exercice dans le muscle (Pearen et al, 2010). Il régule l'expression des gènes musculaires qui contrôlent le métabolisme oxydatif. Le site de liaison à l'ADN de Nr4a3 est un octanucléotide NBRE (NGFI-B Response Element). Or le module à la fois le plus fréquent et le plus significatif dans le promoteur des gènes transcrits en réponse au stress chez le rat (13 apparitions, 10 gènes cibles), comporte un élément de réponse NBRE.

Il apparaît que les modules transcriptionnels identifiés dans cette analyse sont différents entre les deux espèces étudiées (rat et bovin). Deux hypothèses sont envisageables pour expliquer cette différence : (1) Des modalités du stress différentes appliquées aux deux espèces (stress émotionnel de courte durée pour le rat vs stress émotionnel et physique de plus longue durée pour le bovin) induisant des réponses transcriptionnelles différentes. (2) Une réponse qui passerait par des modules différents, spécifiques à chaque espèce. Pour une même modalité de stress, des signatures transcriptomiques différentes ont été détectées entre les muscles de bovin avec un nombre de gènes différentiels plus élevé dans le LT que dans le ST, avec 27 gènes différentiels communs. Environ 25 modules sont sur-représentés dans les deux muscles et seulement 9 modules communs. La réponse au stress émotionnel et physique chez le bovin a donc une composante muscle-spécifique. Toutefois, l'analyse a permis de dégager le facteur de transcription ATF3, qui constitue vraisemblablement un facteur clé de la réponse musculaire au stress dans les muscles bovins et chez le rat.

Enfin, lors de la construction des réseaux d'interactions, de nombreux facteurs de transcription, non présents dans la liste initiale de gènes différentiels, sont apparus comme de bons candidats pour participer à la réponse au stress, notamment dans le muscle ST bovin. Ces facteurs de transcription sont probablement présents dans le muscle en condition basale, et sont activés sous l'effet du stress (modification post-traductionnelle) ou voient leur abondance augmentée très rapidement. Ainsi, la réponse au stress émotionnel et/ou physique pourrait passer par une réponse primaire non transcriptionnelle, relayée ensuite par une réponse transcriptionnelle. La prochaine étape consiste à valider les gènes cibles des modules transcriptionnels, au niveau de leurs transcrits ou protéines, en particulier pour les facteurs de transcription révélés dans les interactomes.



Figure 1. Réseau d'interaction de gènes cibles réalisé à partir des modules transcriptionnels communs aux muscles LT et ST de bovin. Le réseau a été construit en utilisant Pathway Studio, qui d'intégrer les données issues de la bibliographie aux données expérimentales. Les facteurs de transcription FOS, ATF3 et CEBPD sont localisés à des nœuds du réseau.

Conclusion

Les quatre réseaux d'interactions créés dans cette étude (1 pour les rats et 3 pour les bovins) mettent en évidence une réponse au stress différente selon l'espèce ou les modalités du stress, ainsi qu'une réponse muscle spécifique chez le bovin. Bien que peu de facteurs de transcription soient déclarés différentiels, ces réseaux suggèrent l'implication de certains facteurs de transcription dans la réponse transcriptionnelle au stress (ATF3 dans les deux espèces, FOS et CEBPD dans les 2 muscles bovins) (figure 1). Les modules transcriptionnels et facteurs de transcription identifiés permettront de mieux caractériser la réponse au stress et de rechercher l'influence éventuelle du stress sur les marqueurs de qualité sensorielle de la viande (cf Picard et al, 2012). Notamment, les gènes cibles du facteur Nr4a3 et du module transcriptionnel le plus significatif identifié chez le rat seront recherchés chez le bovin. Ceci pourrait dégager des pistes au niveau moléculaire pour expliquer la corrélation positive entre les transcrits codant pour des enzymes du métabolisme oxydatif pour le muscle LT et la tendreté chez les bovins stressés (cf Terlouw et al, 2012).

Les auteurs remercient Geneviève Gentes, la Plateforme d'Exploration du Métabolisme de l'Inra et Imaxio (Biopôle Clermont-Limagne) pour la réalisation des analyses transcriptomiques, et Claudia Terlouw pour les discussions scientifiques. Cette étude a été financée par une Action Incitative Phase Inra, et le programme européen ProSafe-Beef.

Cassar-Malek I., De La Foye A., Picard B., Gentes G., Terlouw C., Fernandez X. 2010. Viandes et Produits Carnés (hors série), 239-240.

Cassar-Malek I., De La Foye A., Cherfaoui M., Jurie C., Terlouw C., Durand D., Hocquette J.F. 2011. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. 18, 205.

Pearen, M.A., Fitzsimmons, R.L., Wang, S.C.M., Muscat, G.E.O., 2010. Endocrine Journal 57, S328-S328.

Picard B., Berri C., Lebret B., Lefevre F., Damon M., Liaubet L., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Renand G. 2012. 14èmes JSMTV.

Terlouw E.M.C., Bourguet C., Cassar-Malek I., Deiss V., Lebret B., Lefevre F., Picard B. 2012. 14èmes JSMTV.

UTILISATION DES OUTILS DE BIO-INFORMATIQUE POUR REVELER DES PROTEINES PARTENAIRES DE HSP27

KAMMOUN M.¹, PICARD B.¹, HENRY-BERGER J.², CASSAR-MALEK I.¹

¹INRA-Vetagro Sup, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France
²UMR CNRS-Université Blaise Pascal 6547, 24 avenue des Landais, F-63177 Aubière Cedex

Abstract : Use of bioinformatic tools for the revelation of proteins partners of Hsp27

Thanks to genomics, we have previously identified new markers of beef tenderness and found Hsp27 at a crucial node of an interactome related to tenderness. In this study, we revealed the direct interactors of Hsp27 and built up a pathway of 17 interactors that could participate in tenderness. This pathway included proteins (e.g. SOD1, DES, DAXX, members of HSP families, CHUK, EIF4G1, and APP) involved in different functions. Thus bioinformatics provided useful information that should help in understanding the role of Hsp27 in tenderness and its contribution in regulatory networks.

Introduction

La qualité sensorielle est un critère important d'appréciation de la viande bovine par les consommateurs qui demeurent insatisfaits en particulier de la tendreté. Cette qualité a une origine complexe, multifactorielle et encore non expliquée, ce qui la rend difficilement maîtrisable par la filière bovine confrontée à la concurrence des viandes blanches offrant un meilleur rapport qualité/prix. À l'issue de plusieurs années de recherche au sein de l'équipe INRA Amuvi, une liste de 24 marqueurs potentiels de la tendreté de la viande a été établie. Dans le but d'approfondir les connaissances sur la fonction biologique des différents marqueurs de cette liste, une première analyse bio-informatique a permis d'établir un interactome qui fait le lien entre les différentes protéines (Guillemin *et al.*, 2011). Dans cet interactome, des Heat Shock Proteins (HSPs), en particulier la Hsp27 se situe à des « carrefours » biologiques. Cette dernière protéine a été identifiée comme étant différentiellement exprimée entre des muscles de tendreté extrême, par des travaux de protéomique (Picard *et al.*, 2010) et de transcriptomique (Bernard *et al.*, 2007). Comprendre le rôle de Hsp27 dans l'établissement de la tendreté est un des enjeux des recherches de l'équipe. L'objectif de la présente étude est d'utiliser les outils de bio-informatique afin de révéler les protéines partenaires de Hsp27. Ces protéines seront ensuite analysées chez les souris KO Hsp27 et témoins afin de démontrer les conséquences éventuelles de l'inactivation du gène codant Hsp27 sur l'expression ou la quantité de ces protéines. Ces données apporteront des informations utiles pour comprendre l'établissement de la tendreté dans le muscle bovin.

Matériel et méthodes

Cette étude repose sur une liste de vingt-quatre protéines identifiées comme marqueurs potentiels de la tendreté de la viande bovine (tableau 1). Ce jeu de données de base rassemble des protéines issues de différentes familles: métabolisme musculaire, structure, résistance au stress oxydatif, protéolyse et protéines du stress thermique (HSPs) (Guillemin *et al.*, 2011).

Tableau 1: liste des vingt-quatre protéines marqueurs de la tendreté

Famille	Métabolisme	Structure	Stress oxydatif	Protéolyse	HSPs
Protéines	Eno1 / Eno3	CapZ-β			αB-crystallin
	LDHB	Desmin	DJ-1	M-calpain	Hsp20 / Hsp27
	MDH1	MLC-1F	PRDX6	μ-calpain	Hsp40
	PGM1	MyBP-H	SOD1		Hsp70-1A / Hsp70-8
		MyHC-I/II/IIX			Hsp70/GRP75

L'étude bio-informatique a été réalisée à l'aide du logiciel Pathway-Studio (Ariadne Genomics) qui permet d'intégrer les données issues de la bibliographie aux données expérimentales et de construire des réseaux d'interaction. La démarche a consisté à construire un réseau d'interacteurs centré sur Hsp27 (proches voisins en interaction directe). L'intersection entre la liste de ce réseau et la liste des vingt-quatre protéines marqueurs de tendreté a ensuite été réalisée. Afin d'enrichir le réseau de protéines ainsi obtenu, l'intersection a été refaite entre la liste des vingt-quatre protéines élargie à 330 protéines (issues de l'analyse de Guillemin *et al.*, 2011) et le réseau des interacteurs de Hsp27. Afin de valider et compléter la liste de partenaires de Hsp27 ainsi obtenue nous avons

recherché à l'aide de Medscan et Atlas-NextBio (<https://www.nextbio.com/knockdownAtlas/hspb1>) les protéines pour lesquelles une modification d'expression est corrélée à l'absence de la protéine Hsp27 dans des analyses de transcriptomique.

Résultats et discussion

Le réseau centré sur Hsp27 montre qu'elle est en relation avec différentes protéines de la famille des protéines de stress thermique comme la Hsp90, l' α - β cristalline et la Hsp20, ainsi qu'avec les protéines de l'apoptose et du stress oxydant. L'intersection entre le réseau Hsp27 et les 24 protéines « marqueurs de tendreté de la viande » a révélé trois protéines (Super Oxide Dismutase 1 : SOD1, Desmine : DES et Heat shock protein 20 : Hsp20). Ces protéines pourraient jouer un rôle dans l'installation de la tendreté et la maturation de la viande (Guillemin et al., 2011). La même démarche a été suivie avec la liste des 330 protéines de l'interactome tendreté de Guillemin et al. (2011) et le réseau des interacteurs de Hsp27 (Figure 1).

Figure 1 : Interactome de l'intersection entre le réseau de Hsp27 (codée par le gène HSPB1) et la liste des interacteurs des 330 protéines de l'interactome tendreté.



Cette analyse a permis de révéler un réseau de dix-sept protéines en interaction directe avec Hsp27 (Figure 1). Afin de mieux comprendre la fonction de ces protéines, une analyse de Gene Ontology a permis de les classer selon différentes fonctions biologiques. En plus des protéines préalablement identifiées (DES et SOD1) on remarque la présence des protéines de choc thermique (Hspb8 et Hsp90A), et de la RHOA impliquée dans la régulation du cytosquelette musculaire. L'apoptose est représentée par la présence de la protéine pro-apoptotique DAXX.

La comparaison de ce réseau à la liste de protéines obtenue par Medscan et Atlas-NextBio a révélé les protéines CHUK, CRYAB, EIF4G1 et APP comme des cibles potentielles du KO Hsp27 qui pourraient jouer un rôle dans la tendreté.

Conclusion

Cette analyse bioinformatique a révélé une liste de 17 protéines en interaction directe avec Hsp27. L'étape suivante consiste à rechercher des anticorps spécifiques de ces protéines puis à valider leur condition d'utilisation par western-blot dans le muscle de souris. L'abondance de ces protéines sera ensuite quantifiée par Dot-Blot (selon Guillemin *et al.*, 2009) dans les muscles des souris KO Hsp27 et de leurs témoins. Ceci permettra d'apporter une meilleure compréhension de leurs interactions et de dégager des pistes pour leur implication dans l'établissement de la tendreté de la viande chez le bovin.

Les auteurs remercient le Département Phase de l'INRA qui finance cette étude dans le cadre d'une action incitative Top Down.

Bernard, C., Cassar-Malek, I., Le Cunff, M., Dubroeuq, H., Renand, G., Hocquette, J.F., 2007. J. Agric. Food Chem. 55, 5229-5237.

Guillemin, N., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Hocquette, J.F., Renand, G., Picard, B., 2011. Animal 5, 885-894.

Guillemin, N., Meunier, B., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Hocquette, J.F., Levéziel, H., Picard, B., 2009. Journal of Physiology and Pharmacology 60, 91-97.

Picard, B., Berri, C., Lefaucheur, L., Molette, C., Sayd, T., Terlouw, C., 2010. Briefings in Functional Genomics 9, 259-278.

DÉTECTION FINE DE QTL DE TENDRETÉ DE LA VIANDE DANS TROIS RACES ALLAITANTES FRANÇAISES

ALLAIS S.^{1,2}, JOURNAUX L.², LEPETIT J.³, ROUSSET S.⁴, DENOYELLE C.⁵, BERNARD-CAPEL C.⁵,
HOCQUETTE J.F.⁶, LEVEZIEL H.^{7,8}, ROSSIGNOL M.N.⁹, RENAND G.¹

¹INRA, UMR 1313, 78350 Jouy en Josas; ²UNCEIA, 75595 Paris Cedex 12; ³INRA, UR 370, 63122 Theix; ⁴INRA, UMR 1019, 63122 Theix; ⁵Institut de l'Elevage, 75595 Paris Cedex 12; ⁶INRA, UMR 1213, 63122 Theix; ⁷INRA, UMR 1061, 87060 Limoges; ⁸Université de Limoges, UMR 1061, 87060 Limoges; ⁹Labogena, 78350 Jouy en Josas.

Abstract: Fine mapping of meat tenderness QTL in three French beef breeds.

Without routine measurement of sensory meat quality traits, breeding companies wonder how to take advantage of the genetic variability of these traits at the molecular level. The projects “Qualvigène” and “Qualvigène + ABQV” were set in to find markers associated to beef quality therefore. A total of 1,059 Charolais, 1,219 Limousin and 947 Blond d'Aquitaine purebred young bulls from respectively 48, 36 and 30 sire families were genotyped with the Illumina Bovine SNP50® Beadchip. Two meat tenderness traits were measured: shear force and tenderness score. QTLs were detected with a methodology combining linkage disequilibrium and linkage analysis on haplotypes. If we consider the significant positions at the 1% threshold and separated by a minimum distance of 4cM, we found about 20 QTLs per trait in each of the three breeds, with a maximum of 35 QTL for shear force in the Blonde d'Aquitaine breed. Some QTL were common across two or three breeds as a QTL of shear force on the chromosome 3 between 16 and 21cM. Most of the other QTLs were breed-specific. The results were also consistent with previous studies of candidate genes (calpastatin and calpain 1 genes).

Introduction

La tendreté de la viande est un élément essentiel pour la satisfaction des consommateurs. La mesure des qualités sensorielles étant très complexe et onéreuse, un phénotypage de routine n'est pas envisageable. Par conséquent, les entreprises de sélection se sont interrogées sur les possibilités d'exploiter la variabilité génétique des qualités sensorielles au niveau moléculaire, afin d'identifier des marqueurs génétiques impliqués dans la qualité de la viande bovine. La disponibilité de puces à SNP haut débit a permis d'améliorer considérablement la puissance des détectations de QTL. L'objectif de cette étude est d'identifier des régions du génome associées à des variations de tendreté de viande dans trois races allaitantes françaises : Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine.

Matériels et Méthodes

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme Qualvigène + ABQV qui fait suite à Qualvigène. Le dispositif expérimental est constitué de 3349 jeunes bovins (JB) soit 1114 Charolais, 1254 Limousins et 981 Blonds d'Aquitaine, issus respectivement de 48, 36 et 30 pères. Les JB limousins et Blonds d'Aquitaine ont été abattus à 16 et 14 mois respectivement alors que les JB Charolais ont été abattus à 730 kg de poids vif, selon les protocoles de testage sur descendance en station des taureaux d'insémination animale. Deux steaks de 6 cm d'épaisseur, tranchés à 24h *post-mortem* dans le muscle Longissimus thoracis (LT) au niveau des 8^{ème} et 9^{ème} côtes ont été congelés après 14 jours de maturation. Ces steaks ont été cuits sur grill à 55°C à cœur. Un jury de 12 membres entraînés, spécifique de chaque race, a dégusté le premier steak et attribué une note de tendreté (NT) comprise entre 0 et 100 à chaque échantillon. La moyenne d'une douzaine de mesures de la force de cisaillement (FC, méthode Warner-Bratzler) a été déterminée sur le second steak.

A partir de l'ADN extrait d'aliqots de viande, 1059 JB Charolais, 1219 JB Limousins et 947 JB Blonds ont pu être génotypés sur la puce bovine SNP50® d'Illumina. Un génotypage des pères a également été réalisé à partir d'échantillons de semence. Les haplotypes ont été reconstruits selon la méthode de Druet et Georges (2010). Ensuite, une analyse Linkage Disequilibrium and Linkage Analysis (LDLA) a été effectuée selon la méthode de Meuwissen et al. (2002) et en utilisant le programme développé par Druet et al. (2008). Une statistique de test appelée Likelihood Ratio Test (LRT) qui est un rapport entre le modèle H0 (il n'y pas de QTL) et le modèle H1 (il existe un QTL à cette position) a été calculée. Un profil statistique est ainsi construit pour chaque caractère tout au long de chaque chromosome. La distribution du LRT a été définie selon Foulley et al. (2000). Les seuils à 5% (rouge), 1% (violet) et 1% (noir) au niveau du chromosome seront tracés sur les figures suivantes (sans correction pour les tests multiples).

Résultats et discussion

Deux QTL ne sont pas considérés différents si les pics des LRT sont distants de moins de 4 cM afin de limiter le nombre de QTL détectés dans une même région et supposés associés au même polymorphisme causal. Le tableau suivant recense le nombre de QTL de la force de cisaillement et de la note de tendreté, détectés au seuil de 1%.

Tableau 1 : Nombre de QTL de tendreté de la viande, significatifs au seuil de 1% dans les trois races.

	Charolaise	Limousine	Blonde d'Aquitaine
force de cisaillement	19	21	35
note de tendreté	21	11	22

Peu de QTL sont communs aux trois races. Toutefois, le chromosome 3 semble présenter un ou plusieurs QTL de force de cisaillement dans les trois races comme le montre la figure 1. Toutefois, on ne trouve pas de QTL de la note de tendreté sur ce chromosome bien que la corrélation génétique entre les deux caractères soit très étroite (-0,90) dans les trois races.

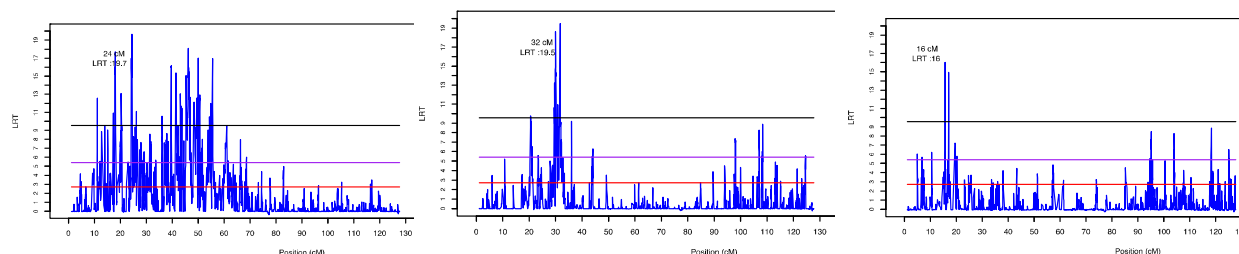


Figure 1 : QTL de la force de cisaillement sur le chromosome 3, en races Blonde d'Aquitaine, Limousine et Charolaise, de gauche à droite.

Des QTL pour les deux mesures de tendreté ont été identifiés à la position de gènes candidats préalablement étudiés par Allais et al, 2011. Ainsi, on trouve un QTL dans la région du gène de la calpastatine (CAST) en race Blonde d'Aquitaine et un QTL dans la région du gène de la calpaïne 1 (CAPN1) en race Charolaise (figures 2 et 3).

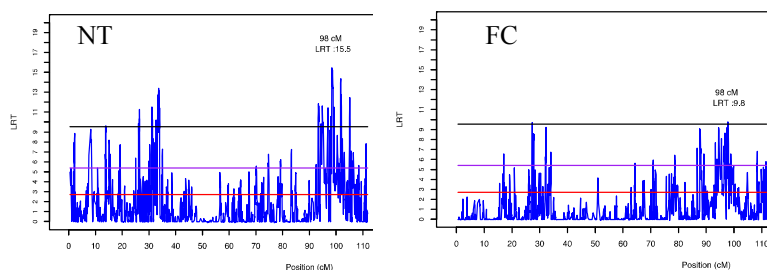


Figure 2 : QTL de la note de tendreté et de la force de cisaillement en race Blonde d'Aquitaine sur le chromosome 7 à 98 cM (gène CAST).

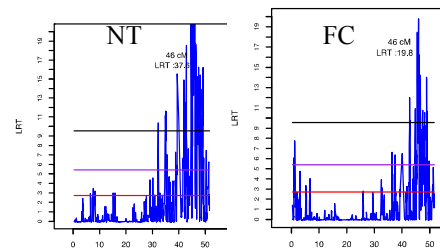


Figure 3 : QTL de la note de tendreté et de la force de cisaillement en race Charolaise sur le chromosome 29 à 45 cM (gène CAPN1).

La plupart des QTL sont spécifiques d'une race comme le QTL de la force de cisaillement du chromosome 5 en race Limousine (figure 4).

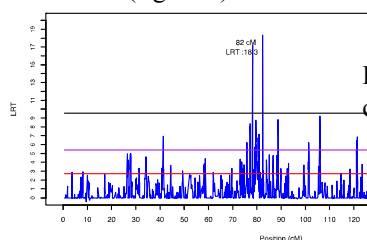


Figure 4 : QTL de la force de cisaillement sur le chromosome 5 en race Limousine.

Conclusions

La suite des travaux consistera en une analyse plus fine des QTL via l'imputation des génotypes des Jeunes Bovins sur puce 777K. Cette analyse permettra de réduire l'intervalle de confiance des QTL et d'identifier plus facilement les QTL communs aux trois races. Les QTL les plus significatifs pourront alors être analysés par séquençage afin d'identifier des polymorphismes très étroitement liés aux mutations causales susceptibles d'être intégrés dans une sélection sur marqueurs.

Le programme Qualvigène a été financé par l'ANR, Apis-Gène, l'office de l'Elevage et le FNE. Le programme Qualvigène + ABQV a été financé par Apis-Gène.

Allais S., Journaux L., Levéziel H., Payet-Duprat N., Raynaud P., Hocquette J.F., Lepetit J., Rousset S., Denoyelle C., Bernard-Capel C., Renand G., 2011. J Anim Sci, 89 : 1-11.
Druet T., Fritz S., Boussaha M., Guillaume F., Derbala D., Zelenika D., Lechner D., Charon C., Boichard D., Gut I.G., Eggen A., Gautier M., 2008. Genetics, 178(4) : 2227-2235.
Druet T., Georges M., 2010. Genetics, 184(3) : 789-798.
Foulley J.L., Jaffrésic F., Robert-Granié C., 2000. Genet Sel Evol, 32(2) : 129-141.
Meuwissen T., Karlsen A., Lien S., Olsaker I., Goddard M.E., 2002. Genetics, 161(1) : 373-379.

META-ANALYSE DES RELATIONS ENTRE TENDRETE ET CARACTERISTIQUES MUSCULAIRES DE LA VIANDE BOVINE

CHRIKI S.^{1,2}, RENAND G.³, PICARD B.¹, MICOL D.¹, JOURNAUX L.², HOCQUETTE J.F.¹

¹ INRA, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France ;

² UNCEIA, 75595 Paris Cedex 12, ³INRA, AgroParisTech, UMR 313, 78352 Jouy-en-Josas

Abstract: Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics

Beef tenderness is characterised by a high and uncontrolled variability. This variability depends at least in part on differences in muscle characteristics. From data available in the BIF-Beef (Integrated and Functional Biology of beef) data warehouse, we aim to identify general laws between beef tenderness and muscle characteristics. Tenderness was evaluated by sensory method and shear force. The following muscle traits were measured on both *Longissimus thoracis* (LT) and *Semitendinosus* (ST) muscles: total and insoluble collagen contents, intramuscular fat content, mean muscle fibre area, glycolytic and oxidative enzyme activities and the proportion of the different types of muscle fibres. Mainly in ST muscle, total and insoluble collagen contents and the Lactate Dehydrogenase activity explain 6%, 6% and 4% respectively of the variation of shear force. However, in LT muscle only, the mean muscle fibre area explains 2% of the variability of sensory tenderness score.

Introduction

Dans la filière bovine, la tendreté de la viande est considérée comme la qualité sensorielle la plus importante car elle détermine, pour l'essentiel, l'acte d'achat répété du consommateur. Les caractéristiques biochimiques du muscle : fibres musculaires, collagène, lipides..., peuvent expliquer jusqu'à 30% des variations de la tendreté dans certaines populations de bovins (Renand *et al.*, 2001). En s'appuyant sur la base de données « Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine » (BIF-Beef) dans le cadre du programme européen « ProSafeBeef » (Chriki *et al.*, 2012), l'étude présentée ici visait à mettre en évidence des lois générales qui régissent les relations entre les caractéristiques musculaires et la tendreté de la viande bovine.

Matériel et méthodes

La base de données BIF-Beef, rassemble des données issues de 43 expérimentations avec 330 000 données qui renseignent plus de 600 variables (Chriki *et al.*, 2012). Elles proviennent de bovins âgés de 1 mois à 10 ans, regroupant des mâles entiers, des mâles castrés et des femelles de 20 types génétiques différents. Les données extraites pour la présente étude proviennent de 36 expérimentations différentes où la tendreté de la viande a été évaluée par l'une ou les deux méthodes suivantes : i) un test sensoriel, sur échantillons cuits en grillade à 55-60° C, faisant appel à des jurys de dégustation entraînés ii) un test mécanique, sur échantillons crus, mesurant la force de cisaillement (Warner-Bratzler : WB). Ces échantillons, maturés pendant 14 jours à 4 °C, proviennent de deux muscles : *Longissimus thoracis* (LT : entrecôte) et *Semitendinosus* (ST : rond de gîte). Les caractéristiques musculaires suivantes sont disponibles sur les deux muscles LT et ST : teneurs en collagène total et insoluble, teneur en lipides intramusculaires, surface moyenne de section transversale des fibres musculaires, activités enzymatiques de la LDH (Lactate Déshydrogénase, métabolisme glycolytique) et ICDH (Isocitrate Déshydrogénase, métabolisme oxydatif) et proportions des types de fibres musculaires : SO (lentes oxydatives), FOG (rapides oxydo-glycolytiques) et FG (rapides glycolytiques).

Les données de tendreté ont ensuite été mises en relation avec les différentes caractéristiques musculaires de ces mêmes animaux. Toutefois, toutes les mesures n'ayant pas été réalisées sur les mêmes animaux en raison de la variabilité des protocoles entre les différentes expérimentations, toutes les données n'étaient pas disponibles pour l'ensemble des animaux. Cela explique la différence de nombre de données selon les caractères considérés (de 82 à 4019).

Avant de réaliser les analyses de corrélation et de régression, toutes les variables ont été, au préalable, ajustées pour les effets de l'expérimentation, en prenant les résidus du modèle linéaire intégrant ce facteur de variation. L'analyse conjointe des résultats de l'ensemble des 36 expérimentations issues de la base de données BIF-Beef a consisté à estimer les coefficients de régression des deux mesures de la tendreté avec toutes les caractéristiques musculaires, en testant si ces relations diffèrent entre muscles (LT, ST) et entre types d'animaux (taurillon, vache) ou si elles suivent une loi qui pourrait être considérée comme générale.

Résultats et discussion

Tous muscles et sexes confondus, les valeurs de tendreté sensorielle et de force de cisaillement ne sont pas significativement corrélées entre elles ($r = -0.07$). Ceci peut être expliqué en partie par le fait que les échantillons évalués par les dégustateurs entraînés étaient grillés ce qui n'était pas le cas pour le test mécanique réalisé sur échantillons crus. Ces valeurs sont toutefois significativement corrélées pour le muscle LT issu des vaches ($N=87$, $r = 0.28$, $P < 0.01$).

Tous les modèles de régression qui se sont avérés significatifs sont indiqués dans le Tableau 1 ci-après. Les deux variables d'intérêt mesurant la tendreté ne sont significativement corrélées qu'avec la surface des fibres musculaires, pour la tendreté sensorielle, et avec les teneurs en collagène total et insoluble et l'activité LDH, pour la force de cisaillement.

Tableau 1. Régressions significatives de la tendreté sur les caractéristiques musculaires

Variable Dépendante	Variable indépendante	Modèle de régression	P<F	R ²
Tendreté sensorielle	Surface des Fibres (1000 µm ²) (N=3827)	Pentes intra muscle*sexe	0,047	1,8%
Force de cisaillement	Teneur en collagène total (mg/g matière sèche) (N=328)	Pentes intra muscle	0,011	6,1%
	Teneur en collagène insoluble (mg/g matière sèche) (N=327)	Pente unique	<0,0001	6,4%
	Activité LDH (µmole/min/g) (N=339)	Pentes intra muscle*sexe	0,040	3,8%

R² : part de variance expliquée par le modèle.

Après ajustement pour les effets muscle et sexe, il apparaît que la surface moyenne des fibres musculaires est la seule variable qui joue un rôle sur la tendreté sensorielle. De plus, elle n'est significative (P<0.0001) que dans muscle LT des taurillons (Tableau 2) où elle explique 2% de la variabilité de la note de tendreté. Ces résultats confirment les conclusions de la majorité des expérimentations (Guillemin *et al.*, 2009).

Tableau 2. Coefficients de régression (pentes) de la tendreté sur les caractéristiques musculaires

Variable Dépendante	Variable Indépendante	LT		ST	
		Taurillons	Vaches	Taurillons	Vaches
Tendreté sensorielle	Surface des Fibres (1000 µm ²)	-0.18 (***) ^a (N=3499)	-0.01 (NS) ^b (N=95)	-0.05 (NS) ^b (N=138)	0.01 (NS) ^b (N=95)
Force de cisaillement	Teneur en collagène total (mg/g matière sèche)	3 (NS) ^a (N=82)	1 (NS) ^a (N=84)	17 (***) ^b (N=79)	14 (*) ^b (N=83)
	Teneur en collagène insoluble (mg/g matière sèche)	9 (NS) ^a (N=80)	4 (NS) ^a (N=81)	19 (*) ^a (N=83)	16 (*) ^a (N=83)
	Activité LDH (µmole/min/g)	0.00 (NS) ^a (N=82)	-0.01 (NS) ^a (N=87)	-0.09 (**) ^b (N=83)	-0.02 (NS) ^a (N=87)

Comparaison entre pentes (a, b : P<0.05); Différence avec zéro (*P<0.05, **P<0.001, ***P<0.0001, NS : non significatif).

Après ajustement pour les effets muscle et sexe, les teneurs en collagène total et insoluble et l'activité LDH expliquent, respectivement, 6%, 6% et 4% de la variation de la force de cisaillement. Toutefois, les relations entre les teneurs en collagène total et insoluble et la force de cisaillement apparaissent nettement plus marquées et significatives dans le muscle ST que dans le muscle LT (Tableau 2) : plus les teneurs en collagène sont élevées, plus la viande est dure. Le fait que cette relation ne se retrouve pas dans le muscle LT, peut s'expliquer par les faibles teneurs en collagène de ce muscle comparativement au ST. Il n'existe, par contre, aucun effet du type d'animal sur ces relations.

Par ailleurs, le métabolisme glycolytique (activité LDH) favorise la tendreté (force de cisaillement plus faible) uniquement pour le ST des taurillons avec 630 animaux (Tableau 2). Ces résultats obtenus sur un grand nombre d'animaux (de 119 à 1225 suivant la combinaison sexe * muscle) de différentes expérimentations nous permettent de conclure que la relation entre propriétés métaboliques des muscles et tendreté dépend du type de muscle et du type d'animal puisqu'elle n'est observée que dans le ST de taurillons. Ceci explique que cette relation soit très controversée dans la bibliographie où, selon les auteurs, les types de muscles et d'animaux étudiés sont différents (Guillemin *et al.*, 2009).

Cette étude montre aussi qu'il est plus facile d'expliquer une variable physique et mécanique mesurée de façon standard et répétable, en l'occurrence la force de cisaillement, que la tendreté évaluée par un jury de dégustation qui est une variable multicritère car faisant appel à plusieurs sens humains. De plus, la cuisson avant l'analyse sensorielle, rajoute aussi une source de variabilité liée au processus lui-même.

Conclusions

Nos résultats, basés sur un large jeu de données représentatif de la variabilité des muscles et types d'animaux de la filière viande bovine française, nous permettent de confirmer que la relation entre la tendreté et les caractéristiques musculaires est dépendante du type de muscle et parfois aussi du type d'animal. Nous avons démontré que la surface moyenne des fibres musculaires est corrélée négativement, bien que faiblement, à la tendreté uniquement pour l'entrecôte. Ce n'est donc pas une caractéristique pertinente à mesurer dans le muscle ST. De même, l'activité LDH et les teneurs en collagène total et insoluble sont de bons indicateurs à mesurer surtout dans le muscle ST.

Chriki S., Picard B., Jurie C., Reichstadt M., Micol D., Brun J.P., Journaux L., Hocquette J.F. 2012. Meat Sci., 91 : 423-429.

Guillemin N., Cassar-Malek I., Hocquette J. F., Jurie C., Micol D., Listrat A., Leveziel H., Renand G., Picard B., 2009. INRA Prod. Anim., 22, 331-344.

Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. Meat Sci., 59 : 49-60.

PREMIERS RESULTATS D'UNE EXPERIENCE DE SELECTION DIVERGENTE SUR LE PH ULTIME DE LA VIANDE CHEZ LE POULET

LE BIHAN-DUVAL E.¹, CHABAULT M.¹, BOULAY M.², GUARDIA S.³, JEGO Y.⁴, BAEZA E.¹,
BERRI C.¹

¹INRA, UR 083, Unité de Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY

²SYSAAF, Centre INRA de Tours, 37380 NOUZILLY

³ITAVI, Unité de Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY
Hubbard, La Pouhardière, 35220 CHATEAUBOURG

Abstract: First results of a divergent selection on the meat ultimate pH in chicken

Due to important changes in consumption, the ability of poultry meat to be stored and processed has become a major issue for the poultry industry. It strongly depends on the ultimate pH, which is still poorly controlled. This study aimed to demonstrate the feasibility of selection on the ultimate pH of chicken breast meat. A second objective was to create divergent lines (called pHu+ and pHu-) useful for genetic studies and the study of the interaction with the rearing factors. The results obtained after four generations of selection confirm the high level of heritability of ultimate pH ($h^2 = 0,58$). Divergent selection is efficient since breeding values of animals for ultimate pH differ from about 2 standard deviations between the two divergent lines. At the phenotypic level, the difference was 0,37 pH unit, with nearly 50% of "acid" meat (pHu < 5,7) in the low line (pHu-) and 25% of "DFD" (Dry, Firm, Dark) meat (pHu > 6,2) in the high line (pHu+).

Introduction

Avec plus de 1,6 millions de tonnes équivalent carcasses (tec) en 2011, la viande de volaille est l'une des principales viandes consommées en France, au même niveau que la viande bovine et derrière la viande porcine à 1,9 million tec (Agreste Synthèses, Consommation, Mars 2012). Sa consommation a fortement évolué durant la dernière décennie, avec un recul important de la consommation de volailles entières (52% de la consommation du poulet en 1998 contre 32% en 2011) au profit des viandes découpées (33% en 1998 contre 42% en 2011) et des produits élaborés (15% en 1998 contre 26% en 2011). Au-delà du poids et de la présentation des carcasses, l'aptitude de la viande à être conservée et transformée est donc devenue un enjeu majeur pour l'industrie avicole. Les enquêtes réalisées par l'ITAVI et l'INRA entre 2008 et 2010 dans les abattoirs français ont dressé le constat d'une forte hétérogénéité de qualité de la viande (notamment en termes de couleur, texture et rendement technologique) qui apparaît principalement liée à des variations de pH ultime. Deux défauts majeurs ont été identifiés : les viandes à pH ultime bas ($\leq 5,7$), dites acides, qui se caractérisent par une couleur pâle, une texture dure après cuisson et une mauvaise aptitude à la transformation, et les viandes à pH ultime élevé ($\geq 6,2$), dites « DFD » (pour Dark, Firm and Dry), qui sont sombres et sèches en bouche et qui posent des problèmes de conservation. L'incidence de ces défauts est loin d'être négligeable puisque 18% des filets pour le poulet standard et de l'ordre de 50% pour le poulet label sont de type acide. Concernant les défauts DFD, ils concernent essentiellement les souches à croissance rapide, avec une incidence de l'ordre de 5% pour le poulet standard (Bouvarel *et al.*, 2011). L'ensemble de ces informations souligne l'importance de la maîtrise du pH ultime pour les qualités technologiques mais aussi sensorielles de la viande. Les études menées en conditions expérimentales chez le poulet concluent toutes à un fort déterminisme génétique du pH ultime avec une héritabilité de l'ordre de 0,35 en souches intermédiaire ou standard (Le Bihan-Duval *et al.*, 2001, 2008) et de 0,48 en souche label à croissance lente (Le Bihan-Duval *et al.*, 2012). En conséquence, il semble possible de moduler ce caractère par sélection. C'est sur cette base qu'a été initiée une expérience de sélection divergente sur le pH ultime du filet au sein d'une souche standard de poulet avec comme objectifs (1) de prouver la faisabilité d'une telle sélection et d'en évaluer les conséquences indirectes (2) de créer des lignées uniques permettant d'étudier le contrôle génétique de la qualité de la viande et l'interaction avec les facteurs d'élevage chez le poulet.

Matériel et méthodes

La souche utilisée pour la sélection était une souche standard de type femelle, sélectionnée pour un équilibre entre croissance et reproduction. La mesure du pH ultime impliquant l'abattage des animaux, la sélection est faite sur collatéraux. A chaque génération sont donc produits plusieurs lots, de futurs reproducteurs ou de testage. Les mesures effectuées à 6 semaines d'âge aux différentes générations étaient les suivantes : pH ultime (pHu) par insertion d'une électrode dans le filet à 24h post-mortem, couleur par mesure de la luminosité (L^*), de l'indice de rouge (a^*) et de jaune (b^*) à l'aide d'un colorimètre à 24h post-mortem, composition corporelle par mesure du pourcentage de gras abdominal et du rendement en filet rapportés au poids vif. Partant d'une population unique en 2009, deux sous-populations ont été sélectionnées sur la seule valeur génétique du pHu soit pour l'augmenter (lignée pHu+) soit pour la diminuer (lignée pHu-). Au total pour les deux lignées, en moyenne 54 pères et 142 mères ont été utilisés comme reproducteurs à chaque génération, soit une pression de sélection de l'ordre de 19% et 50% sur les voies pères et mères, respectivement. Les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) étaient évalués à chaque génération par la méthodologie du REML à l'aide du logiciel VCE (Groeneveld *et al.*, 2010). Ces paramètres étaient ensuite utilisés pour estimer les valeurs génétiques des futurs reproducteurs grâce à un BLUP multi-

caractère avec le logiciel PEST (Groeneveld *et al.*, 1990). L'évolution génétique de chaque caractère a été estimée en faisant la moyenne à chaque génération des valeurs génétiques des animaux au sein de chaque lignée.

Résultats

Les paramètres génétiques estimés sur la base des 4 premières générations de sélection (soit plus de 7000 animaux reproducteurs ou collatéraux) confirment une forte héritabilité du pH ultime estimée à 0,58 (Tableau 1). Ce dernier apparaît modérément positivement corrélé avec le rendement en filet (0,22). Par contre, une corrélation génétique plus forte et négative est observée avec la luminosité du filet (-0,51). Le pHu et l'indice de jaune sont également négativement corrélés (-0,27).

Tableau 1 : Héritabilité (sur la diagonale en gras), corrélations génétiques (au dessus de la diagonale) et phénotypiques (au dessous de la diagonale) pour les paramètres de qualité et de croissance.

	pHu	L*	a*	b*	Poids vif	% filet	% gras
pHu	0,58±0,03	-0,51±0,04	0,04±0,04	-0,27±0,04	-0,07±0,05	0,22±0,05	0,04±0,03
L*	-0,42	0,56±0,03	-0,37±0,04	0,48±0,03	0,16±0,05	0,12±0,03	-0,15±0,05
a*	0,01	-0,36	0,40±0,03	0,28±0,05	-0,29±0,05	-0,12±0,03	-0,10±0,05
b*	-0,19	0,44	0,18	0,48±0,03	-0,17±0,05	-0,02±0,03	-0,28±0,05
Poids vif	0,00	0,15	-0,16	-0,04	0,28±0,03	0,36±0,03	0,24±0,04
% filet	0,13	0,07	-0,04	-0,01	0,21	0,56±0,03	0,06±0,02
% gras	-0,03	-0,03	-0,07	-0,11	0,07	-0,04	0,68±0,03

Après 4 générations de sélection, les valeurs génétiques des animaux pour le pHu varient de près de 2 écart-types génétiques (ETG) entre les deux lignées (Figure 1). La différence est de 1,4 ETG pour la luminosité, 0,9 ETG pour le jaune, 0,5 ETG pour le rendement en filet et 0,1 ETG pour le rouge. Au niveau phénotypique et après 4 générations de sélection, la différence observée entre les deux lignées pour le pH ultime est de 0,37 (6,07 pour les pHu+ vs 5,70 chez les pHu-), soit près de 2,5 écart-types phénotypiques (Figure 2). Au-delà du pH, la sélection a entraîné des modifications de couleur avec un filet plus pâle et plus jaune chez les pHu- ($L^*=51,73$; $b^*=10,26$) que chez les pHu+ ($L^*=45,61$, $b^*=8,95$). Le rendement en filet est légèrement mais significativement plus élevé chez les pHu+ par rapport aux pHu- (20,63% vs 20,09%).

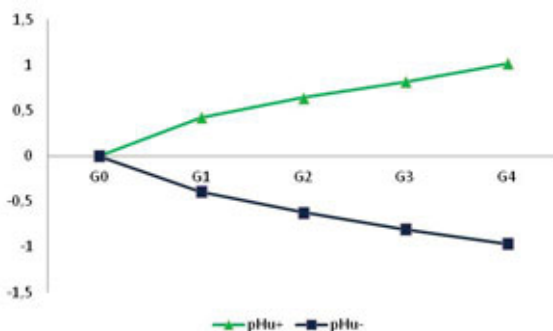


Figure 1 : Evolution génétique (en ETG) du pH ultime chez les deux lignées divergentes.

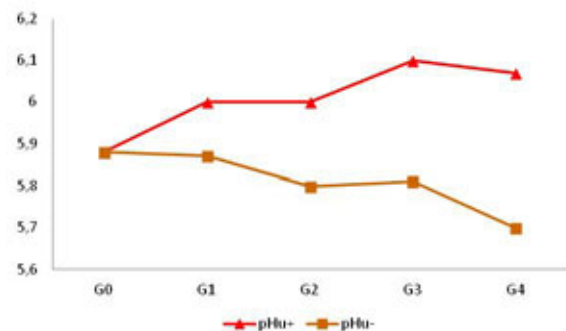


Figure 2 : Evolution des valeurs moyennes de pHu chez les deux lignées divergentes

Conclusion

Les résultats des quatre premières générations de sélection confirment, pour la première fois chez le poulet, l'efficacité de la sélection sur le pH ultime du filet. Si l'effort de sélection va être poursuivi, nous disposons d'ores et déjà de lignées se différenciant nettement sur la qualité avec près de 50% de viandes « acides » ($pHu < 5,7$) dans la lignée pHu- et 25% de viande de type DFD ($pHu > 6,2$) dans la lignée pHu+. Ces lignées uniques doivent maintenant être mises à profit pour préciser l'impact de la sélection pour le pH ultime sur les différentes composantes de la qualité (technologique, sensorielle, sanitaire) et les relations avec la production (croissance, composition corporelle, efficacité alimentaire, etc) et pour étudier le déterminisme génétique de ce caractère et les interactions possibles avec les facteurs d'élevage tels que l'alimentation.

Bouvarrel, I., Arnould, C., Baéza, E., et al. 2011. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29-30 Mars 2011, 10 p.

Chabault, M., Baéza, E., Gigaud, V. et al. 2012. BMC Genetics, sous-presse.

Groeneveld, E., Kovac, M., Wang, T. 1990. 4th World Congress on genetics applied to livestock production, Edinburgh, 23-27 July, Vol XIII, 488-491.

Groeneveld, E., Kovajc, M., Mielenz, N. 2010. VCE User's Guide and Reference Manual Version 6.0

Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Baéza, E., Millet, N., Beaumont, C. 2001. Poultry Science, 80, 839-843.

Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Berri, C.M., Sellier, N., Santé-Lhoutellier, V., Jégo, Y., Beaumont, C.; 2008. BMC Genetics, 9, 6 p.

TRANSCRIPTOME DU MUSCLE LONGISSIMUS ET QUALITE DE LA VIANDE DE PORC BASQUE

DAMON M.^{1,2}, DENIEUL K.^{1,2}, LEBRET B.^{1,2}

¹ INRA, UMR1348 PEGASE, F-35590 Saint-Gilles, France

² Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, F-35000 Rennes, France

Abstract: Skeletal muscle gene expression profiling associated with meat quality in Basque pig

Muscle characteristics strongly influence the economic value, pork products and their qualities. However, biological properties leading to high sensory quality remain unclear. In this context, the local Basque breed genetically distant from other European pure breeds of pigs, characterized by a slow growth rate, a high adiposity and high sensory meat quality is a relevant model to study the development of pork quality. To understand the biological phenomena underlying muscle characteristics and meat quality, we studied the muscle transcriptome of Basque pigs reared in 3 different rearing systems. We investigated the relationships between the expression of 12 selected genes, and technological and sensory meat quality traits.

Introduction

Les caractéristiques musculaires influencent fortement la valeur économique et la qualité des produits de la filière porcine. Cependant, les propriétés biologiques conduisant à une qualité sensorielle élevée ne sont pas clairement identifiées. Dans ce cadre, le porc Basque, une race locale génétiquement « distante » d'autres races européennes¹, caractérisée par une croissance lente, une forte aptitude à déposer des lipides et une viande de qualité sensorielle élevée, est un modèle pertinent pour étudier le déterminisme de la qualité de la viande de porc [1]. Afin d'appréhender les phénomènes biologiques sous-jacents, nous avons analysé le transcriptome musculaire de porcs Basques élevés dans différents systèmes d'élevage et recherché la relation entre l'expression de 12 gènes et des caractères technologiques et sensoriels de qualité de la viande.

Matériels et méthodes

Dispositif expérimental. Le dispositif comportait 2 répétitions (R1 et R2) incluant chacune 30 porcs mâles castrés de race pure Basque élevés en système d'élevage conventionnel (caillebotis, C, n=10), alternatif (litière avec libre accès à une courette extérieure, A, n=10) ou extensif Basque (E, n=10), abattus au poids de 150 kg. Trente minutes post-mortem, un échantillon de muscle Longissimus *lumborum* (LL) a été prélevé pour les analyses transcriptomiques. Le lendemain, le pH ultime (pHu) et la couleur (luminosité, L* et angle de teinte, h°) ont été déterminés. Un échantillon de LL a été prélevé pour détermination de la teneur en lipides intramusculaires (LIM). Après 4 j de maturation, le LL a été prélevé, mis sous vide et congelé pour détermination de la force de cisaillement (FC, mesurée selon Warner-Bratzler) après cuisson [2].

Hybridation et traitement des données des puces. Les ARN totaux ont été extraits au Trizol puis les échantillons et la référence ont été marqués au Cy3 ou Cy5, respectivement. L'hybridation, l'acquisition des images et la quantification des signaux bruts ont été réalisés comme décrit précédemment [3]. Les données d'expression ont été ajustées pour un effet série d'hybridation (6 modalités) avant d'effectuer l'analyse d'expression différentielle. Une ANOVA sur les résidus a été réalisée pour tester l'effet du mode d'élevage (3 modalités : C, A, E). Une correction Benjamini et Hochberg pour les tests multiples a été appliquée en utilisant un seuil d'ajustement de 5%⁴. Un test de Tukey a ensuite été réalisé pour comparer les 3 groupes 2 à 2.

Analyse fonctionnelle. L'analyse d'enrichissement de processus biologiques, des composants cellulaires et des fonctions moléculaires, a été effectuée en utilisant l'outil DAVID (<http://david.abcc.ncifcrf.gov/>) et un seuil de signification statistique de 10%.

RT-PCR en temps réel. Les RT-PCR ont été effectuées sur les échantillons analysés en transcriptomique (R1) ainsi que sur les échantillons de la seconde répétition du dispositif (R2). L'ADNc a été synthétisé à partir de 2 µg d'ARN. Des amorces ont été conçues à l'aide du logiciel Primer Express et les PCR et la quantification de l'expression des gènes ont été réalisées comme décrit précédemment [4].

Corrélations entre les expressions géniques et la qualité. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés avec R [5] entre l'expression des 4550 sondes et 5 critères de qualité (LIM, pHu, FC, L* et h°) en appliquant une correction pour tests multiples [6]. Les coefficients de corrélation de Pearson ont également été calculés pour les expressions de gènes mesurées par RT-PCR.

Résultats et Discussion

L'analyse des données du transcriptome montre que 400 séquences sont différentiellement exprimées entre les 3 conditions d'élevage : 10 entre les modes d'élevage C et A, et 390 entre les modes d'élevage C ou A, et E. Ces 390 séquences correspondent à 267 gènes qui sont soit sur-exprimés chez les porcs E (n=117), soit sur-exprimés chez les

porcs C ou A (n=150). Les mesures par RT-PCR quantitative de l'expression de 10 gènes fortement différentiels permettent de valider nos résultats (données non montrées). L'analyse fonctionnelle des processus biologiques associés aux différences d'expression génique entre les modes d'élevage met en exergue 8 clusters (Tableau 1). Six clusters caractérisent les porcs E tandis que 2 clusters se rapportent aux porcs A ou C. Ainsi les gènes contrôlant la structure musculaire (CRYAB, HSPB1, CSRP3, ANKRD2, ANKRD1) et impliqués dans la réponse thermique (HSPB8, HSPB1) sont plus exprimés chez les porcs E. Par ailleurs, de nombreuses corrélations ont été établies entre les niveaux d'expression géniques obtenus sur puce et 5 caractères technologiques et sensoriels : pHu, L*, h°, LIM et FC. Douze gènes parmi ceux fortement corrélés à au moins 1 caractère ont été retenus pour confirmation de ces corrélations par RT-PCR sur les mêmes animaux (R1, n=30), puis testés pour validation sur d'autres animaux du même dispositif (R2, n=30). Dix-huit corrélations ($P < 0,05$) ont ainsi été validées ($5\% \leq R^2 \leq 60\%$, Tableau 2).

Tableau 1. Annotations fonctionnelles enrichies selon le mode d'élevage (E, élevage extensif ; A, élevage alternatif ; C : élevage conventionnel)

Cluster	Mode d'élevage	nombre de gènes	Ontologie associée	P
1	E	11	GO:0030016~myofibril	$7.8E^{-7}$
2	E	23	GO:0005856~cytoskeleton	$4.3E^{-4}$
3	E	9	GO:0009266~response to temperature	$3.9E^{-3}$
4	E	11	GO:0006986~response to unfolded protein	$3.7E^{-2}$
5	E	7	GO:0016791~phosphatase activity	$2.4E^{-2}$
6	E	8	GO:0016564~transcription repressor activity	$2E^{-2}$
7	A ou C	8	GO:0006325~chromatin organization	$7.5E^{-2}$
8	A ou C	8	GO:0051301~cell division	$2.7E^{-2}$

Tableau 2. Corrélations (coefficients r, Pearson) entre l'expression de 12 gènes et 5 caractères de qualité, établies par transcriptomique (T, n=30) et RT-PCR (R1, n=30 et R2, n=30).

		PPP1R3	FHOD1	HPS1	ANKRD1	CA3	OTUD1	ZNF24	ZNF503	DHRS1	SCD	ARL5B	NHEDC2
pHu	T				0.54		0.61		-0.67			0.69	-0.73
	R1				0.72		0.63		-0.42			0.53	-0.41
	R2				0.73		0.39		-0.43			0.66	-0.37
L*	T			0.77	-0.43		-0.58		0.5				
	R1			0.58	-0.54		-0.49		0.39				
	R2			0.50	-0.43		-0.46		0.40				
h°	T		-0.72	0.77	-0.51	0.4	-0.58	0.37					
	R1		-0.71	0.57	-0.56	0.48	-0.51	0.40					
	R2		-0.23	0.53	-0.38	0.52	-0.51	0.40					
LIM	T									-0.51	0.53		
	R1									-0.44	0.55		
	R2									-0.37	0.31		
FC	T	0.60											
	R1	0.61											
	R2	0.43											

PPP1R3, protein phosphatase 1, regulatory subunit 3C ; FHOD1, formin homology 2 domain containing 1 ; HPS1, Hermansky-Pudlak syndrome 1 ; ANKRD1, ankyrin repeat domain 1 ; CA3, carbonic anhydrase 3 ; OTUD1, OTU domain containing 1 ; ZNF24, zinc finger protein 24 ; ZNF503, zinc finger protein 503 ; DHRS1, dehydrogenase/reductase (SDR family) member 1 ; SCD, stearyl-CoA desaturase (delta-9-desaturase) ; ARL5B, ADP-ribosylation factor-like 5B ; NHEDC2, Na⁺/H⁺ exchanger domain containing 2.

Conclusions

La filière porc Basque produit une viande de qualité élevée et l'analyse du transcriptome musculaire montre que des profils d'expression géniques spécifiques (structure et réponse thermique) peuvent être associés au mode d'élevage extensif. Ainsi, ANKRD1 proposé comme marqueur de qualité (couleur, perte en eau, pHu) chez le porc [7], est plus exprimé chez les porcs E. Par ailleurs, nous observons des différences entre le porc et les bovins car de nombreux marqueurs négativement associés à la tendreté chez les bovins (CRYAB, HSPB1, CSRP3) [8] sont plus exprimés chez les porcs E dont la viande n'est pas moins tendre. Enfin, l'expression de plusieurs gènes (HPS1, ANKRD1, ARL5B) est fortement corrélée aux caractères de qualité de la viande. Le porc Basque est donc un modèle d'étude pertinent pour mieux appréhender la qualité de la viande et identifier des marqueurs des caractères technologiques et sensoriels.

Les auteurs remercient les personnes de la Filière Porc Basque et des unités INRA SENAH, EASM et QuaPA qui ont participé à l'étude. Les auteurs remercient la participation de la Communauté Européenne, 6^e PCRD, pour le Projet Intégré Q-PORKCHAINS FOOD-CT-2007-036245. Les résultats et conclusions de cet article sont sous la seule responsabilité des auteurs et ne reflètent pas nécessairement la position de la Communauté Européenne

1. Laval G et al. (2000) Genet Sel Evol 32: 187–203.
2. Guéblez R et al. 2002. Techni-Porc, 25, 5-15.
3. Lebret B et al., 2011. Journées Rech. Porcine, 43, 39-46.
4. Damon M et al. 2012. PLoS One, 7: e33763.
5. Benjamini Y, Hochberg Y. 1995. J Royal Statist Soc Ser B 57, 289-300.
6. R version 2.8.1, R Development Core Team, 2008
7. Ponsuksili S et al. 2009. Funct.Integ. Genomics 9:455-471
8. Bernard C et al. (2007) J Agric Food Chem. 55:5229-37.

CARACTERISTIQUES MUSCULAIRES DE TRUITES TRIÉES SUR LA TEXTURE DE LEUR CHAIR

LEFEVRE F.¹, PABOEUF G.¹, MONTFORT J.¹, LE CAM A.¹, LABBE L.², LE BOUCHER R.³,
QUILLET E.³, DUPONT-NIVET M.³, BUGEON J.¹

¹ INRA, UR1037 LPGP, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex France

² INRA, UE0937 PEIMA - Le Drennec - 29450 Sizun, France

³ INRA, UMR1313 GABI, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

Abstract: Muscle traits in rainbow trout with distinct flesh texture

Among fish quality traits, flesh texture is an important sensory quality trait for consumer but also for processing plant during filleting or slicing. 35 fish upon 700 were selected as "soft" (M) or "firmed" (F) based on the mechanical resistance of the fillet using a penetrometric test with a cylinder plunger. No difference was measured between M and F fish for body weight and global or muscle adiposity. Fillet lightness was higher for F fish ($p < 0,05$). Muscle pH, measured immediately after slaughter, was higher ($p < 0,001$) for F fillet. Difference in fillet firmness, the selective trait at slaughter, was still significant at 48h *post-mortem* (pm). No difference between M and F was measured for ultimate pH (48 h pm) or white muscle fibre mean diameter. Muscle transcriptome analysis revealed, between M and F, differences in the expression of genes coding for structural components, especially for connective tissue and enzymes (metabolic and proteolytic).

Introduction

La texture de la chair des poissons est une qualité importante aussi bien pour les industriels afin de permettre la fabrication de produits transformés que pour les qualités sensorielles du produit pour le consommateur. Des défauts de texture des filets de poissons apparaissent parfois (chaire molle, ouverture des filets musculaires) mais l'origine de ces défauts reste inconnue. La texture de la chair de poisson dépend de la quantité et de la nature des composants musculaires (essentiellement des protéines) et de l'organisation tridimensionnelle (structure) des tissus qui composent le muscle (fibres musculaires, tissus conjonctif et adipeux) (Lefèvre et al., 2008). Une meilleure compréhension du déterminisme de la texture nécessite d'avoir des modèles de textures distinctes pour des poissons ayant par ailleurs des caractéristiques (âge, poids, morphologie, état d'engraissement, ...) proches. L'objectif de ce travail était de caractériser des poissons triés sur leurs textures : molles (M) ou fermes (F).

Matériel et Méthodes

Dans le cadre d'une expérimentation mise en place pour estimer des paramètres génétiques (héritabilité, corrélations génétiques), la résistance mécanique de filets de truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) au stade portion (343 jours post-fécondation) a été mesurée juste après l'abattage par un test de pénétration avec une sonde cylindrique sur environ 1000 poissons (Figure 1). Une distribution du paramètre de résistance mécanique de la chair a été réalisée sur les 300 premiers poissons mesurés afin de déterminer les seuils inférieur et supérieur permettant de séparer des poissons considérés comme "Mous" (M) et "Fermes" (F) dans cette population.

Sur les 700 poissons suivants 35 poissons extrêmes M ou F ont été caractérisés juste après l'abattage en terme de morphologie, adiposité, rendements, pH musculaire, couleur des filets et à 48 h *post mortem* (pm) (couleur, pH, résistance mécanique et teneur en matières sèches des filets). Des prélèvements de muscle ont été réalisés, fixés dans du Carnoy avant déshydratation et inclusion dans la paraffine pour les analyses histologiques, ou congelés dans l'azote liquide puis conservés à -80°C pour les analyses biochimique ou transcriptomique. Les données de caractéristiques des poissons, de qualité de la chair et d'analyse histologiques ont été analysées en ANOVA. L'analyse du transcriptome a été réalisée avec des puces Agilent 60K, les valeurs moyennes des M et des F ont été comparées par un test de Student.

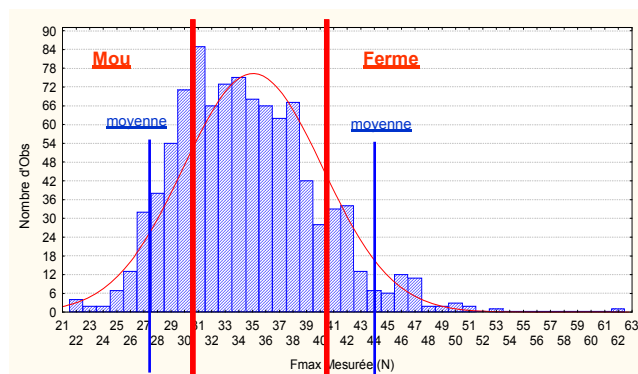


Figure 1 : Distribution des valeurs du paramètre de tri des poissons = force maximale (Fmax) mesurée lors d'un test de pénétration.

Résultats et discussion

Les paramètres de résistance mécanique des filets de truite, mesurés juste après l'abattage, ont des héritabilités moyennes de 0,3 à 0,47 (Dupont-Nivet et al., 2012) montrant un déterminisme génétique assez fort de ce critère de qualité, dont les bases biologiques restent à déterminer.

Les caractéristiques des poissons, les paramètres de qualité de la chair et le diamètre moyen des fibres musculaires des poissons analysés sont présentés dans le tableau 1. Les poissons retenus comme M ou F ont des poids moyens similaires, ne présentent pas de différence de morphologie, ni de rendements (carcasse et filet), mais les poissons M ont un rapport hépatosomatique (poids foie / poids poisson) supérieur aux poissons F ce qui peut traduire une différence d'état métabolique et/ou nutritionnel des poissons. Les F ont des filets un peu plus lumineux que les M et ont un pH musculaire juste après l'abattage supérieur aux M mais aucune différence de pH musculaire ultime (à 48h pm). Une corrélation positive entre le pH_i et la résistance mécanique mesurée à l'abattage est d'ailleurs observée ($r = 0,45$, $p < 0,01$). Les écarts de pH_i mesurés peuvent traduire soit des différences d'activité musculaire des poissons au moment de l'abattage, soit des différences de métabolisme musculaires *in vivo*. Les poissons M et F ne présentent pas de différences d'adiposité (évaluation Fat-meter®, teneur en matières sèches de la chair) ce qui permet de dire que les différences de texture mesurées ici entre les M et les F ne sont pas dues à ce paramètre.

La luminosité (L*) des filets est néanmoins positivement corrélée avec la teneur en matières sèches des filets ($r=0,25$, $p<0,05$) et une tendance de corrélation est mesurée entre la luminosité et le pH_i ($r=0,20$, $p=0,10$).

Les M et F, triés sur la résistance mécanique (fermeté) de leur filet juste après l'abattage, présentent aussi une différence, bien que moins prononcée, de résistance mécanique à 48h pm. A l'abattage la différence de fermeté entre les M et les F est de + 34 %, tandis qu'elle n'est plus que de + 27% à 48h pm. La variabilité de la mesure augmente entre l'abattage (moyenne des CV intra-lot = 8%) et 48h pm (moyenne des CV intra-lot = 16%). La diminution de la résistance mécanique entre l'abattage et 48h pm est donc plus importante pour les F (-61,3 EqJ/mm) que pour les M (-44,1 EqJ/mm) mais proportionnellement équivalente (-63% pour les M et -65% pour les F). De façon intéressante, la résistance mécanique des filets est corrélée avec le taux de croissance spécifique des poissons pendant la phase précoce d'élevage (de 213 à 293 jours post-fécondation) ($r=0,35$ à l'abattage et $r=0,41$ à 48h pm, $p<0,01$).

L'analyse histologique de la structure du tissu musculaire ne montre aucune différence de taille des fibres du muscle blanc entre les M et les F. L'hypothèse souvent avancée d'une fermeté accrue par la présence de fibres musculaires (Lefèvre et al., 2008) plus petites n'est donc pas vérifiée dans cette expérimentation.

Les premiers résultats d'analyse du transcriptome musculaire révèlent des différences de niveau d'expression de gènes codant pour des protéines de structure, en particulier des composants du tissu conjonctif de soutien (collagènes, angiopoïétine, laminine, proteoglycane, ...), pour des enzymes du métabolisme (en particulier de la glycolyse) et pour des protéases (sous-unités du protéasome, cathepsines, calpaïne). L'analyse de ces résultats doit être approfondie mais les premiers résultats montrent que les "biomarqueurs" de texture extrême de la chair de truite sont assez différents de ceux de la viande des animaux terrestres (Picard et al., 2012).

Conclusion

Les poissons retenus comme M ou F n'ont pas de différence de poids, ni de morphologie, ni d'adiposité. En dehors de leur différence de fermeté ils diffèrent légèrement pour la couleur de leur chair, le pH musculaire juste après abattage, mais ne présentent pas de différence de pH ultime ni de taille des fibres musculaires. Une étude préliminaire du transcriptome apporte des informations pour expliquer les déterminismes biologiques qui sous-tendent ces différences de texture, informations susceptibles de permettre d'identifier des "biomarqueurs" de fermeté de la chair de truite. En complément, l'analyse du protéome musculaire par électrophorèse bidimensionnelle devrait également permettre d'identifier des "marqueurs" de texture. Ces biomarqueurs devront ensuite être validés dans d'autres expérimentations où des facteurs d'élevage conduiront à des différences de texture de la chair.

Ces travaux ont été financés par le FUI VEGEAQUA

Dupont-Nivet M., Bugeon J., Le Boucher R., Paboeuf G., Le Calvez J-M., Goardon L., Labbé L., Vandeputte M., Quillet E., Lefèvre F., 2012. Aqua 2012, Prague, Czech Republic, 1-5 Septembre.

Lefèvre F., Bugeon J., 2008. Sci. Alim., 28: 365-377.

Picard B., Berri C., Lebret B., Lefèvre F., Liaubet L., Damon M., Le Bihan-Duval E., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Renand G. 2012. 14^{èmes} JSMTV, Caen, France, 13-14 novembre.

Tableau 1 : Caractéristiques des poissons, paramètres de qualité de la chair et diamètre des fibres du muscle blanc (MB) de truites triées "Molle" (M) ou "Ferme" (F), moyenne $\pm$ écart-type, n=35 pour tous les paramètres sauf pour le diamètre des fibres où n=10.

	M	F	p:
Poids (g)	436 $\pm$ 76	474 $\pm$ 110	NS
RHS (%)	1,71 $\pm$ 0,26	1,58 $\pm$ 0,24	*
F-M (%)	5,66 $\pm$ 0,90	5,77 $\pm$ 0,96	NS
MS (%)	27,6 $\pm$ 1,1	28,0 $\pm$ 1,6	NS
L*	45,68 $\pm$ 1,19	46,36 $\pm$ 1,57	*
a*	-0,55 $\pm$ 0,31	-0,68 $\pm$ 0,28	p=0,06
b*	0,53 $\pm$ 0,70	0,74 $\pm$ 0,53	NS
pH _i	7,03 $\pm$ 0,14	7,16 $\pm$ 0,13	***
pH _u	6,36 $\pm$ 0,06	6,36 $\pm$ 0,05	NS
Ferm. Ab. (EqJ/mm)	70,0 $\pm$ 5,8	94,1 $\pm$ 7,0	***
Ferm. J2 (EqJ/mm)	25,9 $\pm$ 4,1	32,8 $\pm$ 5,6	***
Ø Fibres MB (µm)	58,8 $\pm$ 4,2	59,9 $\pm$ 3,9	NS

RHS: Rapport Hépatosomatique = poids foie / poids poisson; F-M: évaluation Fat-Meter®, MS: teneur en matières sèches, L*: luminosité, a*: composante rouge, b*: composante jaune, pH_i: pH initial (<2h pm), pH_u: pH ultime (48h pm), Ferm Ab: Résistance mécanique juste après l'abattage, Ferm J2: Résistance mécanique des filets crus à 48h pm, NS: non significatif, *: $p<0,05$, ***: $p<0,001$.

INDEX DES AUTEURS

Aba, L.	81	Clinquart, A.	69, 71
Adolphe, Y.	69	Cornet, J.	67
Aguirre, P.	27	Damergi, C.	159, 163
Ait-Chaabane, O.	29	Damon, M.	127, 177
Aït-Kaddour, A.	37	Danon, Jeanne	115
Ait-Saada, D.	29	Danon, Jeanne	121
Aleyrangués, X.	41	Dauba, A.	155
Allais, S.	171	Daube, G.	69, 71
Alric, M.	93	Daudin, J.D.	109, 111, 123
Amalou, D.	51	Dauvergne, A.	155
Arturo-Schaan, M.	21, 35	De La Foye, A.	167
Astruc, T.	121	Dehais, P.	149
Auberger, J.M.	109	Deiss, V.	135
Auvray, F.	53	Delhalle, L.	69
Baéza, E.	151, 175	Denieul, K.	177
Ballet, J.	23	Denoyelle, C.	171
Bastien, D.	19	Devillers, P.-H.	41
Bauchart, Dominique	23, 37	Douzenel, P.	39
Bauchart, Dominique	33	Dragotoiu, D.	33
Bax, M.-L.	25	Dubost, A.	147
Bebin, K.	35	Duchene, C.	101
Ben Mrad, M.	163	Duclos, M.	151
Beneddouché, B.	75	Dupont-Nivet, M.	145, 179
Bernard-Capel, C.	171	Durand, Denys	33
Berri, C.	127, 143, 175	Durand, Denys	9
Bertout, A.	19	Dzaomuhó, P.	157
Bessouat, F.	155	Ecolan, P.	165
Bibbal, D.	53	Ellies-Oury, M.-P.	155
Bidanel, J.-P.	149	Eloundou-Mballa, P.	157
Bièche, C.	113	Estellé, J.	149
Blanch, M.	153	Faure, J.	165
Bombrun, L.	115	Favier, R.	109
Bonhomme, N.	165	Ferlay, A.	37
Bordeau, T.	143	Fernandez, X.	151
Bouderoua, K.	29	Ferrand, M.	103
Bouffaud, M.	149	Feurer, C.	65
Boukhris, H.	159	Fournet, I.	61
Boulay, M.	175	Gac, A.	49
Bourbab Et Idaomar, M.	161	Gandemer, G.	101
Bourguet, C.	135	Gatellier, Philippe	9
Bouvarel, I.	143	Gatellier, Philippe	105, 115, 123
Briens, C.	35	Gaudichon, C.	25
Brillet-Viel, A.	67	Gay, E.	53
Broyart, B.	123	Gil, M.	153
Brugère, H.	53	Gilbert, H.	149
Brun, J.-P.	151	Gobert, M.	9
Buffière, C.	25	Gondret, F.	151
Bugeon, J.	145, 151, 179	Goujon, J.-M.	39
Campo, M.	153	Grenet, L.	35
Cardinal, M.	67	Gruffat, D.	37
Cartier, P.	53	Guardia, S.	49, 143, 175
Cassar-Malek, I.	127, 135, 151, 167, 169	Guillevic, M.	31
Chabault, M.	175	Habeanu, M.	33
Chammakhi, L.	163	Haffray, P.	145
Chatonnet, A.	151	Hafnaoui, N.	25
Chekrar, F.	111	Hamdi, T.M.	79, 81
Chesneau, G.	17, 27, 31, 39	Hardit, V.	73, 113
Chevalier, F.	67	Harkouss, R.	105
Chevillon, P.	49	Henry-Berger, J.	169
Chriki, S.	173	Hocquette, J.-F.	127, 171, 173
Christieans, S.	73	Hue, I.	151
Ciuca-Lefter, N.	33	Iannuccelli, N.	149

Imazaki, P.	71
Jacob, H.	155
Jacquot, S.	37
Jégo, Y.	175
Journaux, L.	171, 173
Jurie, C.	151
Kammoun, M.	169
Kaushik, S.	145
Keddam, R.	29
Kerhoas, N.	31
Kervevan, P.	31
Khaled, M.B.	83
Khliji, S.	153
Kondjoyan, A.	101, 115, 123
Kouba, M.	165
Labbe, L.	17, 145, 179
Lapasin, C.	49
Lartigue, L.	35
Laureau, S.	145
Lavigne, S.	155
Le Bail, P.-Y.	151
Le Bihan-Duval, E.	127, 175
Le Boucher, R.	145, 179
Le Cam, A.	179
Le Page, R.	39
Le Pichon, D.	19
Le Roux, A.	65, 73
Lebert, A.	105
Lebres, E.H.	81
Lebret, B.	127, 135, 165, 177
Lefaucheur, L.	165
Lefèvre, F.	127, 135, 145, 179
Legrand, I.	113
Leibovitch, S.	151
Lepetit, J.	171
Leprat, P.	41
Leroi, F.	67
Lessire, M.	143
Lethias, C.	147
Leveziel, H.	171
Lezzoum, S.	75
Liaubet, L.	127
Listrat, A.	147
Loison, O.	121
Loukiadis, E.	53
Mabon, N.	157
Mairesse, G.	17, 27, 39
Mardon, J.	37
Medale, F.	27, 145
Mercat, M.-J.	149
Métayer-Coustard, S.	143
Meteau, K.	35, 165
Micol, D.	147, 173
Milan, D.	149
Minvielle, B.	65, 73
Mirade, P.-S.	85, 105
Montfort, J.	179
Monziols, M.	125
Mourot, J.	21, 29, 35, 39
Muller, N.	149
Najar, T.	163
Nezer, C.	69, 71
Normand, J.	19, 103
Oliver, M.-A.	153
Ouanezar, M.	37
Oueslati, K.	23
Paboeuf, G.	179
Pallavidino, F.	155
Panella-Riera, N.	153
Parafita, E.	119
Patissier, E.	119
Piaudel, G.	65
Picard, B.	127, 135, 147, 151, 167, 169, 173
Picgirard, L.	107, 125
Pilet, M.F.	67
Poffo, L.	39
Pomiès, L.	167
Portanguen, S.	101, 109
Poullet, J.-B.	69
Prache, S.	23, 151
Promeyrat, A.	123
Prorot, A.	41
Quillet, E.	145, 179
Quittet, B.	145
Raynaud, L.	21
Redlingshöfer, B.	1
Regguem, S.	79
Rémond, D.	25
Renand, G.	127, 171, 173
Rescan, P.-Y.	151
Ribaud, D.	19
Robert, N.	21
Rodrigues, A.	71
Rogel-Gaillard, C.	149
Roger, L.	21
Rossignol, M.-N.	171
Rousseau, C.	35
Rousset, S.	171
Sadoud, M.	77
Safa, H.	105
Sanchez, M.-P.	149
Sanjuan, I.	153
Sans, P.	153
Santé-Lhoutellier, V.	25
Sañudo, C.	153
Scislowski, V.	49, 101
Selselet-Attou, G.	29
Servin, B.	149
Sharedeh, D.	109, 111
Sindic, Marianne	157
Sire, O.	39
Slimene, A.	163
Tahiri, A.	71
Taminiau, B.	69, 71
Taranu, I.	33
Terlouw, C.	135
Tesseraud, S.	143
Thomas, Agnès	23
Thomas, Agnès	33
Tribot Laspiere, P.	117
Tribout, T.	149
Turin, F.	113, 117
Vandeputte, M.	145
Vautier, A.	39
Vénien, A.	111, 121
Vergnet, S.	145
Weill, P.	17, 27
Zenia, S.	79
Ziani, K.	83

Revue fondée par l'Association
pour le Développement de l'Institut
de la Viande (ADIV)

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Nicolas JABY - ADIV Clermont-Ferrand

RÉDACTEUR EN CHEF

Bruno Carlhian - SOCOPAG

Site Internet

<http://www.viandesetproduitscarnes.com>



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

3^{ème} trimestre 2012

N° spécial : 46 euros

Viandes et Produits Carnés
est répertoriée dans
Food Science
and Technology Abstracts.

VIANDES & PRODUITS CARNÉS

LA REVUE FRANÇAISE DE LA RECHERCHE EN VIANDES ET PRODUITS CARNÉS

Les articles de V&PC, « Viandes et Produits Carnés » sont désormais intégralement et immédiatement accessibles sur un site internet dédié www.viandesetproduitscarnes.com, régulièrement enrichi de nouvelles contributions.

Le site donne un accès exhaustif aux archives de la revue. Les articles sont classés en fonction des espèces et types de préparation (viande bovine, ovine, cheval, porc, charcuterie, volaille, conserves, produits élaborés, surgelés, plats cuisinés, etc.) mais aussi en fonction de leur champ d'intérêt : process et technologies, nutrition, hygiène et sécurité sanitaire, environnement, économie et consommation, bien-être animal.

Seule revue scientifique du secteur des viandes et produits carnés en langue française, V&PC entend se mettre au service de la recherche et de l'industrie des produits carnés. Soumettez vos articles et contributions à son comité de lecture via le site ou à l'adresse redactionvpc@free.fr

La revue publie également tous les deux ans les actes des JMSTV, Journées des sciences du muscle et technologies des viandes.

Des contributions régulières

Un confort de lecture

