Hors Série

VIANDES & PRODUITS CARNÉS

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

9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande

15 et 16 Octobre 2002
CLERMONT-FERRAND

Sous l'égide du Pôle Viande

LE PÔLE VIANDE

9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande

15 et 16 Octobre 2002
CLERMONT-FERRAND
Domaine du Marand
63450 Saint-Amand-Tallende

Comité d'organisation

- J. CULIOLI (INRA – SRV)
- M. DUCLOS (INRA – SRA)
- B. FOSTIER (ITP)
- F. FRANCOIS (OFIVAL)
- J. GIROUX (INTERBEV)
- N. JEHL (ITAVI)
- C. LEGRAIN (OFIVAL)
- P. MAINSANT (INRA - LOIAA)
- J. MOUROT (UMR INRA-ENSAR)
- G. MONIN (INRA – SRV)
- JP POMA (CTCPA)
- D. PEYRAUD (CTSCCV)
- Y. QUILICHINI (Institut de l'Elevage)
- M. SAUDAN (ADIV)
- P. SELLIER (INRA – DS APA)

Comité d'organisation local

- C. AUREL (ADIV)
- O. BERNARD (INRA)
- J. CULIOLI (INRA – SRV)
- M. SAUDAN (ADIV)

Comité scientifique

G. MONIN (INRA –CLERMONT-FD)

- J.P. FRENCIA (ADIV)
- J.B. GROS (UNIVERSITE CLERMONT 1)
- J. LABADIE (INRA-CLERMONT-FD)
- P. LEROY (INRA-JOUY EN JOSAS)
- P. MAINSANT (INRA-IVRY)
- J. MOUROT (INRA-RENNES)
- P. PATUREAU-MIRAND (INRA-CLERMONT-FD)
- M. SAUDAN (ADIV).
- P. SELLIER (INRA-PARIS)
- J. SIRAMI (ADIV)

INTRODUCTION

Joseph CULIOLI
Station de Recherches sur la viande – INRA
63122 SAINT GENES CHAMPANELLE

Les chercheurs travaillant dans le domaine de la transformation et de la qualité de la viande ont de multiples occasions de se retrouver pour présenter et discuter leurs travaux. Parmi celles-ci, on peut notamment citer, au plan national, les JRA (Journées de la Recherche Avicole), les JRC (Journées de la Recherche Cunicole), les JRP (Journées de la Recherche Porcine) ainsi que les Journées 3R (Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants), et au plan international l'ICoMST (International Congress on Meat Science and Technology). Parmi toutes ces rencontres, les Journées des Sciences du Muscle et de la Technologie de la Viande (JSMTV), anciennement Journées des Chercheurs en Viande, constituent un rendez vous privilégié pour les chercheurs francophones, ainsi qu'en témoigne leur forte participation aux éditions successives de ces journées depuis leur création en 1977.

C'est, en effet, il y a bientôt 25 ans, qu'un petit groupe de chercheurs, animé par B.L. Dumont et R. Boccard, a initié ces journées qui regroupent périodiquement (tous les deux ans à présent) les chercheurs et les acteurs des différentes filières viandes et produits carnés intéressés par les résultats de la recherche. Ceux-ci émanent des travaux conduits dans les différents Instituts de Recherches et Centres Techniques de France et des pays francophones. Après les cinq premières éditions (1977, 1983, 1985, 1988, 1990) organisées à Paris, elles connurent une phase d'interruption de 5 années, due à la forte mobilisation des chercheurs pour l'organisation du Congrès international ICoMST à Clermont Ferrand en 1992. Elles furent ensuite décentralisées, pour la première fois, lors de leur 6^{éme} édition en 1996 à Clermont- Ferrand. Après les 7èmes et 8^{émes} Journées organisées respectivement par le Centre Technique des Viandes (CTV) et l'INRA à Rodez en 1998, puis par le CTSCCV à Paris en 2000, la 9ème édition retrouve Clermont-Ferrand. Son organisation a été confiée au Pôle Viande, qui s'est récemment organisé en GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique, cf. éditorial de la revue Viandes et Prod. Carnés 2001 vol.22 /1).

Ces journées présentent cette année deux particularités. La première concerne le contenu des sessions. Compte tenu des progrès réalisés dans les méthodes et techniques mises en œuvre en génétique et en génomique, les connaissances dans ce domaine ont très fortement progressé au cours des dernières années. En outre, de très importants moyens de recherche vont être mobilisés pour l'analyse du génome des animaux d'élevage dans le cadre du programme mis en place par le GIS AGENAE (cf. conférence introductive de P. Sellier). Cela a justifié, pleinement, l'organisation d'une session spécifique sur la génétique en lien avec la qualité des produits. Par ailleurs, les préoccupations de plus en plus fortes des consommateurs concernant les qualités nutritionnelles, associées à une prise en compte croissante de ces qualités par la Recherche, nous ont également conduits à prévoir une session spécifique sur ce sujet.

Ainsi, le programme de ces 9èmes Journées est articulé autour de cinq sessions dont les animateurs ont constitué un Comité Scientifique, présidé par Gabriel Monin de la Station de Recherches sur la Viande du Centre INRA de Clermont-Ferrand/Theix.

- Economie de la filière : P. Mainsant (INRA, Ivry) et M. Saudan (ADIV)
- Qualités nutritionnelles des viandes : J. Mourot (INRA-Rennes) et P. Patureau-Mirand (INRA-Clermont – Ferrand/Theix)
- Génétique et qualité des viandes : P. Leroy (INRA-Jouy en Josas) et P. Sellier (INRA-Paris)
- Sécurité sanitaire : J. Labadie (INRA- Clermont-Ferrand/Theix) et J.P. Frencia (ADIV)
- Procédés et technologie : J. Sirami (ADIV) et J.B. Gros (Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand)

L'autre nouveauté de ces journées concerne le mode de présentation des communications qui privilégie la forme orale pour les thèmes prioritaires. Donner la parole aux chercheurs, c'est aussi les impliquer plus fortement. Les sessions de présentation d'affiches scientifiques n'ont cependant pas été abandonnées. Elles sont en effet appréciées par beaucoup car elles favorisent les contacts. Elles sont aussi un moyen d'élargir le champ des sessions.

Avec 150 participants, 8 conférences, 27 communications orales et 55 affiches scientifiques, ces Journées sont le témoignage du dynamisme des équipes impliquées dans les domaines de recherche variés dont l'investigation doit permettre le développement des différentes filières Viande. La tenue régulière des Journées « Sciences du Muscle et Technologies de la Viande » et le niveau élevé des travaux présentés seront une garantie de leur reconnaissance tant par la communauté scientifique que par le monde professionnel.

9èmes Journées des Sciences du Muscle

et Technologies de la Viande

Sommaire

SOMMAIRE

Conférence

I-CONF1. La génomique appliquée à l'amélioration des animaux d'élevage. Présentation du programme AGENAE. P. Sellier.

Session : Economie de la filière
Animateurs : P. Mainsant (INRA-Ivry) et M. Saudan (ADIV).

Conférence

E- CONF1. Impact des crises sur l'économie des filières viandes. P. Halliez.

Communications orales

E-COM1. Le coût des déchets et des sous-produits d'abattoirs. M. Saudan.
E-COM2. Impact de la crise ESB sur l'industrie de l'équarrissage. F. Bellanger.
E-COM3. Consommation de viandes, avant puis après l'ESB, en France et en UE. P. Mainsant
E-COM4. La traçabilité et les consommateurs de viande bovine fraîche. G. Giraud et C. Amblard.
E-COM5. Les conséquences de la crise bovine en 2001 sur les résultats économiques des exploitations d'élevage allaitant charolais. P. Veysset, M. Lherm et D. Bébin.

Session : Qualités nutritionnelles des viandes
Animateurs : J. Mourot (INRA-Rennes) et P. Patureau-Mirand (INRA-Clermont-Ferrand)

Conférences

N-CONF1. Les apports en micronutriments par la viande. E. Rock.
N-CONF2. Le point sur les apports nutritionnels conseillés en acides gras, implication sur les lipides de la viande. J. Mourot.

Communications orales

N-COM1. Incidence du mode de production (label, standard, certifié) sur la teneur en lipides et la composition en acides gras du filet et du blanc de poulet. P. Chartrin, M. Quentin, C. Berri, E. Lebihan-Duval et E. Baeza.
N-COM2. Effet d'un régime riche en acide linolénique sur les activités d'enzymes lipogéniques, la composition en acides gras et la qualité de la viande chez le porc en croissance. M.Kouba, M. Enser, F.M. Whittington, G.R. Nute et J.D. Wood
N-COM3. Information nutritionnelle et consommation alimentaire en France. V. Nichèle
N-COM4. Evolution de la consommation protéique entre des sujets jeunes et âgés. S. Rousset, M. Brandolini, J.F. Martin, S Droit-Volet, D. Bonin, P. Lhoutellier, H. Simon, V. Grandjean et Y. Boirie

Posters

N-POS1. Effet de l'incorporation d'acide linoléique conjugué dans l'aliment sur la composition en acides gras du jambon de porc lourd. C. Corino, G. Pastorelli, A. Mounier, J. Mourot.
N-POS2. L'apport de graine de lin riche en acide linolénique favorise le dépôt de CLA principalement dans les triglycérides du muscle chez le bouvillon. D. Bauchart, A. De La Torre, D. Durand, D. Gruffat et A. Peyron.
N-POS3. Influence de la supplémentation de la ration en huiles végétales riches en acides gras polyinsaturés sur la lipoperoxydation plasmatique et musculaire chez le bouvillon en finition. D. Durand, D. Gruffat-Mouty, V. Scislowski et D. Bauchart.
N-POS4. Influence d'une alimentation à base d'herbe sur la lipoperoxydation et le potentiel antioxydant dans le plasma et les muscles de bœufs en finition. D. Gruffat, Mouty, D. Durand, D. Micol, I. Ortigues-Marty et D. Bauchart.
N-POS5. Effet du mode d'engraissement (plein air versus bâtiment) sur la composition en acides gras des lipides intramusculaires de la viande de porcs. Influence de la méthode d'analyse. J. Wavreille, F. Dehareng, M. Sindic, G. Lognay et N. Bartiaux-Thill.
N-POS6. Effet de l'apport sous différentes formes d'acides gras oméga-3 dans l'alimentation du porc sur les performances de croissance et la qualité de la viande. V. Vorin, J. Mourot, M. Delion, P Weill, G. Robin, A. Mounier et P. Peiniau.

N-POS7. Oxydation des protéines plasmatiques et musculaires chez l'agneau soumis à des restrictions alimentaires et réalimentations. I. Savary-Auzeloux, D. Gruffat-Mouty et I. Ortigues-Marty.
N-POS8. Les oxydations lipidiques dans la viande. M. Renerre**.**
N-POS9. Influence du mode de finition alimentaire (herbe/auge) sur l'oxydation de la myoglobine, l'oxydation des lipides et le pouvoir antioxydant de la viande de génisses Charolaises. Y. Mercier, P. Gatellier et M. Renerre.

Session : Génétique et Qualités des Viandes

Animateurs : P. Leroy (INRA-Jouy en Josas) et P. Sellier (INRA-Paris)

Conférence

G-CONF1. L'amélioration génétique de la qualité de la viande dans les différentes espèces : situation actuelle et perspectives à court et moyen termes. G. Renand.

Communications orales

G-COM1. Caractéristiques des muscles de taurillons et de vaches de réforme de quatre races bovines du Massif Central.B. Picard, D. Bauchart, J. Culioli, E. Dransfield, R. Jailler, C. Jurie, J. Lepetit, A. Listrat, A. Ouali, S. Rudel et Y. Geay.
G-COM2. Gènes du développement musculaire et des qualités de la viande bovine. V. Amarger, L. Brémaud, D. Delourme, F. Grandjean, P. Pélissier, P. Raynaud, L. Rouhaud, R. Julien et H. Levéziel.
G-COM3. Etude du transcriptome du muscle pour l'identification de gènes déterminant les caractéristiques musculaires et les qualités sensorielles de la viande bovine. K. Sudre, I. Cassar-Malek, C. Leroux, A. Listrat, C. Jurie, G. Renand, P. Martin et J.F. Hocquette.
G-COM4. Etude anatomique des lésions dans le jambon de porc déstructuré. E. Laville, M. Franck, M. Sidi Bé, T. Sayd, J.M. Bonny, J.F. Chazeix et G. Monin.
G-COM5. Qualité technologique de la viande de poulet en relation avec le mode de production. C. Berri, E. Le Bihan-Duval, E. Baéza, P. Chartrin, M. Quentin, L. Picgirard, N. Jehl et M. Duclos.
G-COM6. Sélection sur le poids à 63 jours : quelles conséquences pour la qualité de viande de lapin ? C. Larzul, F. Gondret, S. Combes, L. Cauquil et H. de Rochambeau.
G-COM7. Résistance mécanique de la viande par la méthode de compression chez les ovins : effet de la race, du poids au sacrifice et de la maturation. S. Martínez-Cerezo, C. Sañudo et J.L. Olleta.
G-COM8. Modélisation de l'évolution des caractéristiques des fibres musculaires de bovins. T. Hoch, B. Picard, C. Jurie et J. Agabriel.

Posters

G-POS1. Effet d'une augmentation du taux de potassium plasmatique sur le métabolisme énergétique du muscle oxygéné et du muscle anoxique. T. Astruc, G. Bielicki, J.P. Donnat, X. Fernandez, J.P. Renou et G. Monin.
G-POS2. Effets de l'âge et du type de production sur les lipides des muscles Longissimus thoracis, Semitendinosus et Triceps brachii de bovins de race charolaise. D. Bauchart, D. Durand, J.F. Martin, R. Jailler, B. Picard et Y. Geay.
G-POS3. Modalité de la croissance musculaire chez le poulet en relation avec le génotype. C. Berri, A. Guernec, E. Le Bihan-Duval et M. Duclos.
G-POS4. Analyse protéomique appliquée à l'étude du développement musculaire et de la qualité sensorielle de la viande bovine. J. Bouley, C. Chambon et B. Picard
G-POS5. Adaptations spécifiques au mode de conduite de différents types de muscles chez les bovins. I. Cassar-Malek, C. Jurie, A. Listrat, R. Jailler, D. Bauchart, S. Kahl, B. Picard et J.F. Hocquette.
G-POS6. Evaluation de la croissance des poulets de la race autochtone noire castillane élevés sous des conditions écologiques. J. Ciria, B. Asenjo, J.A. Miguel, E. Del Cacho et J.L. Calvo.
G-POS7. Étude des acides gras des mâles entiers et des mâles castrés de la race autochtone des poules noires castillanes. J. Ciria, J.A. Miguel, B. Asenjo, C. de Casa et C.A. Sanz.
G-POS8. Mise au point d'un protocole d'analyse du transcriptome musculaire appliquée à l'étude de la qualité de la viande de porc. M. Damon, L. Liaubet, A. Vincent, P. Herpin et F. Hatey.
G-POS9. Analyse en composantes principales de la qualité technologique de la viande de poulet en relation avec le génotype et le stress avant abattage. M. Debut, C. Berri, E. Baéza, N. Sellier, C. Arnould, D. Guéméné, N. Jehl, B. Boutten et C. Beaumont.
G-POS10. Importance des caractéristiques métaboliques et de la composition chimique des muscles de bovin sur leur qualité sensorielle. E. Dransfield, D. Bauchart, , J. Culioli, Y. Geay, C. Jurie, et B. Picard.
G-POS11. Recherche d'indicateurs métaboliques et moléculaires du persillage de la viande bovine. J.F. Hocquette1, C. Jurie, H. Sabboh, V. Amarger, H. Levéziel, D. Bauchart, P. Boulesteix et D.W. Pethick.
G-POS12. Etude histologique des viandes déstructurées de porcs. Comparaison entre un modèle expérimental et des jambons industriels. R. Labas, L. Chanier, C. Garrido, L. Maunier, R. Taylor, T. Astruc et E. Laville.

G-POS13. Traçabilité des produits d'origine bovine au moyen de test moléculaires portant sur les gènes contrôlant la coloration de la robe. S. Guibert, M. Girardot, F. Rouzaud, J. Martin, M-P. Laforet, F. Menissier, H. Leveziel, M. Boichard, R. Julien et A. Oulmouden.

G-POS14. Gènes bovins et qualité des viandes - présentation du programme européen GemQual. H. Levéziel, V. Amarger, D. Delourme, R. Julien, G. Renand, R. Jailler et J.F. Hocquette.

G-POS15. Quantification de l'organisation du réseau conjonctif périmysial du muscle de bovin. L. Maunier, L. Chanier, R. Labas, R. Taylor., A. Listrat et J. Culioli.

G-POS16. Incidence de l'âge à la castration des bovins sur les performances et les caractéristiques musculaires. M.P. Oury, C. Barboiron, J. Lassalas, R. Jailler, R. Dumont, B. Picard, J. Agabriel et D. Micol.

G-POS17. Quantification des protéases musculaires par immunochimie. M.A Sentandreu, O. Chantreau, L. Aubry, D. Levieux et A. Ouali.

G-POS18. Analyse protéomique du muscle déstructuré de porc. T. Sayd, E. Laville, V. Santé et G. Monin.

G-POS19. Qualités des viandes des porcs : rôle de la réactivité à l'homme et des interactions agressives entre animaux. C. Terlouw, J. Porcher et X. Fernandez.

G-POS20. Régulation du gène de la sous-unité catalytique de la m-calpaïne (*capn2*) par les facteurs de transcription spécifiques du muscle au cours de la myogenèse. S. Dedieu, G. Mazères, P. Cottin et J.J. Brustis .

G-POS21. Comparaison de porcs présentant des teneurs extrêmes en lipides dans le muscle *longissimus*. 1. Performances de croissance et qualités des carcasses et des viandes. B. Lebret, I. Louveau, M. Damon, F. Gondret, L. Lefaucheur, J. Mourot, P. Herpin et P. Le Roy.

G-POS22. Comparaison de porcs présentant des teneurs extrêmes en lipides dans le muscle *longissimus.* 2. Capacités de stockage et d'utilisation des lipides intramusculaires. M. Damon, F. Gondret, A. Vincent, I. Louveau, B. Lebret, L. Lefaucheur, J. Mourot, P. Le Roy et P. Herpin.

G-POS23. Etude des modifications protéiques *post mortem* dans le muscle de bar par électrophorèses mono-et bi-dimensionnelle. M. Morzel, C. Ladrat, J. Fleurence et V. Verrez-Bagnis.

Session Sécurité alimentaire

Animateurs : J.P. Frencia (ADIV) et J. Labadie (INRA-Clermont-Ferrand)

Conférences

S-CONF1. Micro-organismes pathogènes émergents dans la filière viande. G. Daube.

S-CONF2. Les maladies à prions et les réseaux d'épidémio surveillance. D. Calavas.

Communications orales

S-COM1. Les *Escherichia coli* vérotoxiques et *E. coli* O157 :H7 : des pathogènes émergents dans l'alimentation. C. Vernozy-Rozand.

S-COM2. L'approche protéomique pour mieux comprendre la physiologie de l'adaptation des bactéries aux environnements agro-alimentaires. M. Hébraud.

S-COM3. Que nous ont appris les tests réalisés en abattoir depuis janvier 2001 sur la situation épidémiologique de l'ESB en France? C. Ducrot.

S-COM4. Détection des résidus de tissus nerveux centraux (cervelle et moelle épinière) sur les carcasses. V. Coppet.

Posters :

S-POS1. Evaluation de l'antibiorésistance des *Campylobacter* isolés de volailles S. Christieans et L. Lebret.

S-POS2. Croissance et survie de E. coli O157:H7 dans les produits secs fermentés J. Sirami et S. Christieans.

S-POS3. Isolement et prévalence de L. monocytogenes dans les process de fabrication de saucissons secs. D. Thèvenot et S. Christieans.

S-POS4. Gestion de la qualité hygiénique et organoleptique dans les ateliers fermiers charcutiers. S. Ammor, I. Chevallier, A. Laguet, E. Dufour, R. Talon et J. Labadie.

S-POS5. Détermination de critères microbiologiques pour le contrôle réguler de la contamination fécale et de l'hygiène générale dans les établissements belges producteurs de viande. Y. Ghafir, M. Cornelis, M. Jouret, K. Dierick, L. De Zutter et G. Daube.

S-POS6. *Salmonella sp*. ou *Listeria monocytogenes*, doit-on choisir entre deux maux en élevage de porcs ? P. Fravalo, Y. Hascoet, C. Fablet, P.A. Beloeil, F. Madec et G.Salvat.

S-POS7. Mise au point d'une nouvelle méthode pour cultiver en biofilms *Listeria monocytogenes*, Escherichia coli O157 H7 et les autres bactéries affectant la qualité des viandes. J. Labadie et F. Trémoulet.

S-POS8. Application de la résonance magnétique nucléaire du proton (RMN 1H) à la comparaison de cerveaux de brebis saines ou atteintes de tremblante. O. Robert, M.C. Aoust de Rouvèze, V. Gilard, M. Malet-Martino, R. Martino.

S-POS9. Croissance de *Listeria monocytogenes* en biofilm en fonction de la surface et de la température et effets de différents traitements physico-chimiques sur la survie. P. Chavant et M. Hébraud

S-POS10. *Listeria monocytogenes* et *Salmonella* dans la filière porc : Etude des contaminations du ressuyage des carcasses à la transformation en produits de charcuterie et de salaison**.** I. Giovannacci, J.L. Vendeuvre, G. Ermel, C. Pissavin, M.T. Toquin, Y. Michel, V. Carlier.

Session Procédés

Animateurs : J.B. Gros (Université Clermont1) et J. Sirami (ADIV)

Conférence

P-CONF1. Evolutions technologiques dans les filières viande et attente de R&D de la part des professionnels. J. Sirami.

Communications orales

P-COM1. Machine de classement automatique des carcasses de gros bovins suivant la grille EUROP. C. Nicolas et A. Lebert.

P-COM2. Etude de la distribution des tissus et de la qualité de la chair dans la truite fario par analyse d'image couleur. P. Marty-Mahe, P. Loisel, B. Fauconneau, P. Haffray et D. Brossard.

P-COM3. Analyse numérique de l'aéraulique d'un séchoir à charcuterie : Cas d'un cycle de ventilation sinusoïdal d'amplitude 60%/40%. P.S. Mirade

P-COM4. Application de la vision numérique à l'analyse de la couleur des filets de dinde en vue de leur tri pour la transformation. I. Sebastián, V. Santé, G. Le Pottier, P. Marty-Mahé, P. Loisel, D. Brossard et G.Monin.

P-COM5. Comparaison de trois méthodes d'étourdissement gazeux des dindes : efficacité de la saignée et qualités des viandes. I. Sebastián, V. Santé, G. Le Pottier et G. Monin.

P-COM6. La déshydratation osmotique appliquée à l'obtention de viande séchée en couche mince. J. Sirami.

Posters

P-POS1. Utilisation de la spectroscopie de fluorescence pour caractériser la texture des pâtes fines de viande. I. Allais, E. Dufour, A. Pierre, C. Viaud, V. Chevallereau, C. Curt et N. Perrot.

P-POS2. Effet du conditionnement sur la stabilité de la couleur du muscle de truite arc-en-ciel fumé. A. Quiñones, G. Choubert et R. Gómez.

P-POS3. Optimisation de la qualité sensorielle de pâtes fines de charcuterie en cours de fabrication par la méthode du Simplex. Utilisation des mesures sensorielles réalisées par les opérateurs. C. Curt, V. Leblanc, I. Allais, N. Perrot, V. Chevallereau et G. Trystram.

P-POS4. Le tri des jambons PSE de porc par vidéo capture. P. Figwer, Mt. Poirel, X. Pasteur, L.Mounier, M. Sidibe et M. Franck.

P-POS5. Mesure de la tendreté de la viande par spectroscopie de fluorescence frontale. J.P. Frencia, E. Thomas et E. Dufour.

P-POS6. L'estimation des propriétés d'équilibre dans les procédés de transformation ou de conservation des produits carnés par une méthode de contribution de groupes. C.G. Dussap et J.B. Gros

P-POS7. Sélection de souches fongiques de la flore de surface de saucissons secs et étude de leur capacité catalytique. J.B. Gros, M.F. Roquebert, J.L. Berdagué, C. Larroche, P. Fontanille et J. Sirami.

P-POS8. Modélisation des transferts thermiques dans un jet d'air chaud en vue de la décontamination des viandes. A. Kondjoyan et M. Havet.

P-POS9. Utilisation d'un modèle de transfert de chaleur et matière couplé avec un modèle de croissance de microbiologie prévisionnelle pour l'optimisation d'un procédé utilisant l'air. P. Baucour, C. Nicolas, I. Lebert, A. Lebert et J.D. Daudin.

P-POS10. Prédiction des caractéristiques organoleptiques et technologiques de la viande porcine par spectroscopie proche infrarouge. A. Meulemans, O. Dotreppe, B. Leroy, L. Istasse et A. Clinquart.

P-POS11. Etude par analyse d'image de la relation entre la teneur en collagène total et la distribution du réseau conjonctif périmysial dans le muscle bovin.. S. Abouelkaram, J.F. Hocquette, J. Culioli et A. Listrat.

P-POS12. Effet des hautes pressions sur la réaction entre la cathepsine D et les myofibrilles bovines. M. de Lamballerie-Anton, J. Perron, S. Jung et R. Chéret.

P-POS13. Relation entre analyse sensorielle et méthode instrumentale. Application a la texture de la viande de charolais. A. Lebecque, A. Laguet, M. Chanonat, S. Lardon et E. Dufour.

9èmes Journées des Sciences du Muscle

et Technologies de la Viande

Conférence introductive

ANALYSE DU GENOME DES ANIMAUX D'ELEVAGE : PRESENTATION DU PROGRAMME AGENAE

P. SELLIER, C. CHEVALET, C. VALIN
INRA - 147 rue de l'Université - 75338 Paris cedex 07

ENJEUX ET OBJECTIFS

L'amélioration de la rentabilité de l'élevage, de I'acceptabilité de la conduite des troupeaux et de la qualité des produits d'origine animale nécessitent une maîtrise accrue de la reproduction, de l'alimentation, de la santé et du bien-être animal.

Cette maîtrise reposera sur une connaissance approfondie des grandes fonctions physiologiques des espèces domestiques et des interactions entre ces fonctions. L'accès à cette connaissance renouvelée devra faire appel aux nouvelles approches systématiques de la génomique, et à une démarche globale intégrant différents niveaux d'organisation, depuis la fonction des gènes jusqu'aux fonctions complexes de l'organisme en interaction avec son environnement.

Un autre défi majeur pour l'élevage européen, qui doit être posé dans un contexte de compétition internationale intense, est de gérer la diversité génétique des espèces et des populations, en s'appuyant sur l'identification des variants des gènes contribuant de façon importante à la sensibilité ou à la résistance des animaux aux maladies et à la qualité des produits. La connaissance de ces gènes et la capacité d'en décrire le polymorphisme dans les populations sont déjà devenues des éléments qu'il est indispensable d'intégrer dans les systèmes d'information génétique et qui devront être progressivement pris en compte de façon systématique.

Ces objectifs ambitieux, communs aux physiologistes et aux généticiens de l'INRA et du CIRAD, requièrent l'identification et la caractérisation du plus grand nombre possible de gènes qui gouvernent les grandes fonctions de l'organisme, l'analyse de leurs modes d'expression conjointe et la description de leur polymorphisme dans les populations. Cela nécessite simultanément l'accès aux outils technologiques de la génomique et un changement de point de vue dans la démarche scientifique.

Le programme AGENAE a pour but de relever ces défis majeurs pour l'avenir de l'élevage européen.

LE CONTEXTE INTERNATIONAL

A la suite des programmes internationaux de cartographie génétique (PIGMAP, BOVMAP, CHICKMAP, SALMAP, et leurs prolongements dans le cadre du 4ème programme cadre, PCRDT) promus par l'Union Européenne dans les années 90 et dont I'INRA a été un partenaire majeur, les laboratoires européens ont acquis la meilleure place dans la compétition internationale. La politique européenne lors du 5ème PCRDT excluant l'étude des génomes animaux tandis que les pouvoirs publics soutenaient aux Etats Unis (en février 1999) le lancement d'un programme de caractérisation systématique des gènes de ces espèces, a entraîné un retard important pour l'Europe.

Un bilan des principales initiatives internationales en cours ou sur le point de démarrer indique clairement cet état de fait, les contributions d'équipes européennes étant surtout attachées à des travaux focalisés sur un nombre limité de gènes déjà identifiés. Aujourd'hui, la Chine et les Etats-Unis annoncent le lancement de projets de grand séquençage des génomes porcin et bovin auxquels les britanniques et les danois tentent de s'associer.

LES ATOUTS FRANÇAIS

D'ores et déjà en France, les équipes concernées par les projets de génomique animale sont largement coordonnées au sein de l'INRA et dans les unités mixtes de recherche impliquant l'INRA. Plus de cinquante équivalent temps plein (ETP) chercheurs sont déjà engagés dans les premières étapes du programme (préparation des banques multitissus, premières analyses fonctionnelles et lancement des travaux de cartographie physique). Les perspectives d'engagement dans les thématiques génomiques et post-génomiques indiquent un potentiel de 120 à 150 ETP chercheurs à l'INRA sans compter les équipes du CIRAD impliquées dans le programme.

De plus, depuis la loi sur l'élevage de 1966, l'INRA est intimement associé avec les partenaires professionnels et les pouvoirs publics dans le dispositif national d'amélioration génétique des animaux d'élevage qui a hissé la France aux premiers rangs dans le monde.

LE CHOIX DES ESPECES

Le choix des espèces retenues pour un investissement en génomique (bovin, porcin, poulet, truite) procède des engagements précédents (cartographie des génomes), ainsi que de la situation internationale où la France s'est jusqu'ici tenue aux avant-postes avec les USA, les Pays-Bas et l'Allemagne dans le domaine de l'amélioration génétique. Ces quatre espèces mobilisent la majeure partie des équipes scientifiques des différents départements du secteur « Animal et Produits Animaux » et font l'objet de priorités exprimées par l'INRA.

Le choix de quatre espèces aussi différentes (un mammifère ruminant, un mammifère monogastrique, un oiseau et un poisson) permettra d'aborder l'étude des grandes fonctions dans le cadre d'une physiologie moléculaire évolutive à travers le suivi du rôle de gènes orthologues entre ces différentes espèces, et d'apporter des éclairages complémentaires aux études concernant les génomes mieux connus, l'homme et la souris d'une part, et des organismes modèles comme le nématode *C. elegans* et la mouche *D. melanogaster*, d 'autre part. De nombreux thèmes de recherche (déterminisme du sexe, déterminisme génétique de l'ovulation, mécanisme d'action des hormones, empreinte génétique, interactions entre métabolisme et grandes fonctions,...) offrent d'ailleurs autant d'intérêt en agronomie qu'en médecine ; la recherche médicale peut en effet bénéficier de modèles animaux parfois plus pertinents que les rongeurs. Ces travaux pourront se développer en collaboration avec I'INSERM et le CNRS.

L'ORGANISATION SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME

Le programme s'articule autour de deux axes :

1. **les programmes génériques** permettront :
   - d'identifier et de caractériser les gènes exprimés,
   - de mettre au point les méthodes qui permettent de réaliser ces travaux en routine,
   - d'enrichir la connaissance relative aux structures des génomes,
   - d'établir une cartographie des gènes et de mettre au point les méthodes de recherche du polymorphisme génique.

2. **les programmes à vocation finalisée** sur l'expression des gènes et la structure des génomes viseront à la caractérisation génétique des populations animales (recherche systématique des polymorphismes dans les gènes identifiés, maîtrise d'un procédé de génotypage à grande échelle, études méthodologiques sur l'utilisation des génotypages à des fins d'amélioration génétique) et à la conduite d'investigations de caractère systématique sur les grandes fonctions physiologiques intéressant l'élevage en faisant appel aux voies nouvelles de la génomique fonctionnelle.

Si le premier axe qui correspond à une amélioration de la connaissance des gènes et génomes est indispensable, c'est au travers du second axe que l'on voit apparaître les applications qui devraient se traduire par une modification profonde des méthodes de sélection puisque l'on connaîtra la valeur génétique potentielle dès le stade embryonnaire. Le testage sur la descendance n'apparaissant plus que comme une recherche de confirmation de cette valeur. D'autre part, la connaissance de la corrélation entre polymorphisme génotypique et polymorphisme phénotypique permettra d'orienter la sélection à la demande (exemples : amélioration de la fertilité, résistance aux mammites, …).

LA MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME

Le programme AGENAE est piloté dans le cadre d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (G.I.S) constitué entre I'INRA, le CIRAD et les partenaires professionnels de l'élevage impliqués dans la conduite du programme et dans ses applications.

L'orientation générale et la validation des options globales sont assurées par un Comité Stratégique, réunissant des représentants des institutions participant à la convention fondatrice du G.I.S.. Ce Comité s'appuie sur un Conseil Scientifique, composé majoritairement de personnalités scientifiques européennes reconnues et extérieures au programme AGENAE.

Le Comité stratégique s'appuie sur un Directoire opérationnel pour la conduite des programmes de recherche. Ce Directoire est l'équipe chargée de la conception, de la coordination et de l'animation opérationnelle des programmes initiés dans le cadre du GIS.

Le Directoire opérationnel s'appuie sur un certain nombre de comités (par thématique ou par espèce) qui précisent la définition des actions, assurent le suivi des travaux et contribuent à l'animation scientifique.

LE PARTENARIAT

Au niveau national, le programme AGENAE implique un partenariat fort avec les structures publiques nationales (Consortium National de Recherche en Génomique, réseau des génopôles), le CEA (développement et réalisation de bio-puces), et les équipes des autres instituts avec lesquelles des projets ciblés de génomique fonctionnelle seront conduits (CNRS, INSERM).

Le programme impliquera également des partenaires professionnels du monde de l'élevage comme la Confédération Nationale de I'Elevage (Fédération Nationale Bovine, Fédération Nationale des Producteurs de Lait, Union Nationale des Coopératives d'Elevage et d'Insémination Animale, INTERBEV, Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière, ...), et l'Interprofession de l'Aquaculture.

Au niveau international, un partenaire privilégié est I'A. R. S. (Agricultural Research Service) américain qui développe un projet comparable au programme AGENAE. Cette collaboration concerne la thématique « structure des génomes » mais aussi le partage des matériels et des informations sur les transcriptomes. D'autres collaborations formalisées et déjà en place sur la cartographie systématique des génomes seront poursuivies (avec les Universités du Minnesota et du Nevada, notamment).

Au niveau européen des initiatives similaires à AGENAE ont par ailleurs été prises, en Grande Bretagne, en Allemagne, aux Pays-Bas notamment. Pour atteindre l'objectif commun, il est nécessaire d'envisager un projet de dimension européenne. Des contacts sont pris pour élaborer un programme susceptible d'être éligible aux prochains appels d'offres de l'Union Européenne ($6^{ème}$ PCRDT).

LES ACTEURS DU GIS

Le réseau national constitué sous forme de groupement d'intérêt scientifique a vocation à travailler sur quatre espèces (bovins, porcins, poule, poisson). Dans un premier temps, le volontarisme des professionnels des secteurs des bovins et de la truite permet de démarrer avec ces deux ensembles de partenaires.

Le contrat de création du GIS signé en mai 2002 prévoit les participations suivantes :

- 50 % pour les organismes publics de recherche (INRA, CIRAD)
- 50 % pour les structures professionnelles
    - une société privée[*] APIS-GENE rassemblant les acteurs de la filière bovine,
    - l'interprofession de l'aquaculture.

Il sera complété par la création d'une société de valorisation qui portera la propriété des résultats non génériques et aura en charge leur valorisation. Les résultats de la recherche générique seront librement publiés.

LE FINANCEMENT DU PROGRAMME

Le budget prévisionnel du programme est de 50 millions d'Euros dont la moitié sera financée par les organismes de recherche publique, 13 millions d'Euros par le ministère de la Recherche et plus de 9 millions d'Euros par les professionnels. Le ministère chargé de l'agriculture soutiendra en outre des programmes particuliers.

[*] actionnaires : UNCEIA (Union nationale des coopératives d'élevage d'insémination animale), CNIEL (Interprofession du lait), INTERBEV (Interprofession des bovins et de la viande), Institut de l'élevage, Confédération Nationale de l'Elevage.

Economie de la filière

Animateurs : P. Mainsant (INRA-Ivry) et M. Saudan (ADIV).

Conférence

IMPACT DES CRISES SUR L'ECONOMIE DES FILIERES VIANDES

P. HALLIEZ – Directeur du Syndicat National de l'Industrie des Viandes (S.N.I.V.)

Marquée par six années de crise, la filière économique de la viande bovine n'est aujourd'hui analysée qu'en référence à ce cataclysme de la vache folle. Impact des crises, conséquences douloureuses, effets positifs, restructuration, réorganisation du marché… : tous ces thèmes constituent autant de préoccupations essentielles des économistes et des décideurs depuis quelques mois maintenant.
Force est de constater qu'au delà des décisions de gestion ou d'opportunité, l'ampleur des modifications structurelles qu'aura imprimées cette période sur notre environnement économique dépasse largement tous les plans d'adaptation que pouvoirs publics et acteurs économiques auraient pu imaginer. Ces empreintes, laissées par la crise de l'ESB, n'ont sans doute pas encore tout révélé et il apparaît légitime de continuer à mobiliser une partie de notre réflexion sur celles-ci. La présente contribution donne à ce titre quelques éléments pouvant alimenter cette réflexion.
Ce faisant, il ne faut pas oublier que l'évolution de la filière viande est aussi le résultat d'une longue histoire, dont les effets structurels n'ont pas été effacés par des événements plus récents. Cette histoire est faite à la fois d'évolution sociale, de tendances économiques et de décisions politiques. Il convient donc à notre point de vue de re-situer nos réflexions dans une évolution plus globale non réduite aux impacts de la crise, sinon nous prenons le risque de commettre d'importantes erreurs d'analyse. C'est pourquoi nous développerons également un certain nombre de ces aspects historiques.
Il ne faut pas sous-estimer non plus les effets des grandes tendances socio-économiques car celles-ci s'exercent sur notre marché et nos entreprises de la même façon que dans les autres secteurs. Si la crise bovine a induit une sorte de réflexe d'autodéfense collective des professionnels du secteur bovin, certes fort légitime face à l'adversité que nous avons connue depuis six ans, il est maintenant nécessaire de retrouver un certain nombre de repères généraux. Faute de quoi notre stratégie serait déconnectée de la réalité du marché alimentaire qui a lui-même poursuivi son évolution pendant que la filière bovine était mobilisée sur la gestion de crise.
L'intégration de l'ensemble de ces interactions entre les effets issus des crises alimentaires et les évolutions globales d'une part et notre économie d'autre part, doit nous permettre de disposer d'éléments pour développer pour les années qui viennent quelques orientations stratégiques dans la voie d'un renouveau de cette filière.

Avant la survenue de la crise de l'ESB, 50 ans d'histoire marqués par de grandes évolutions …

Si l'on voulait compartimenter l'évolution historique de la filière bovine en quelques grandes époques, il faudrait situer la première de celles-ci de l'après-guerre au début des années 1980. Cette période est marquée par un marché de la viande bovine hérité du début du siècle, très complexe, essentiellement piloté par l'amont. A la complexité de l'offre s'ajoute celle des métiers et des acteurs globalement peu organisés, hétérogènes et très dispersés. Mais le marché est « tiré » par la demande, la consommation ne cessant de se développer en cette période de renouveau économique en Europe. Les orientations de la production s'appuient sur des critères socio-politiques et quantitatifs et nullement sur des anticipations du marché. Au niveau qualitatif, les habitudes de consommation traditionnelles imposées par la boucherie (viandes à griller, viandes à bouillir) se perpétuent.

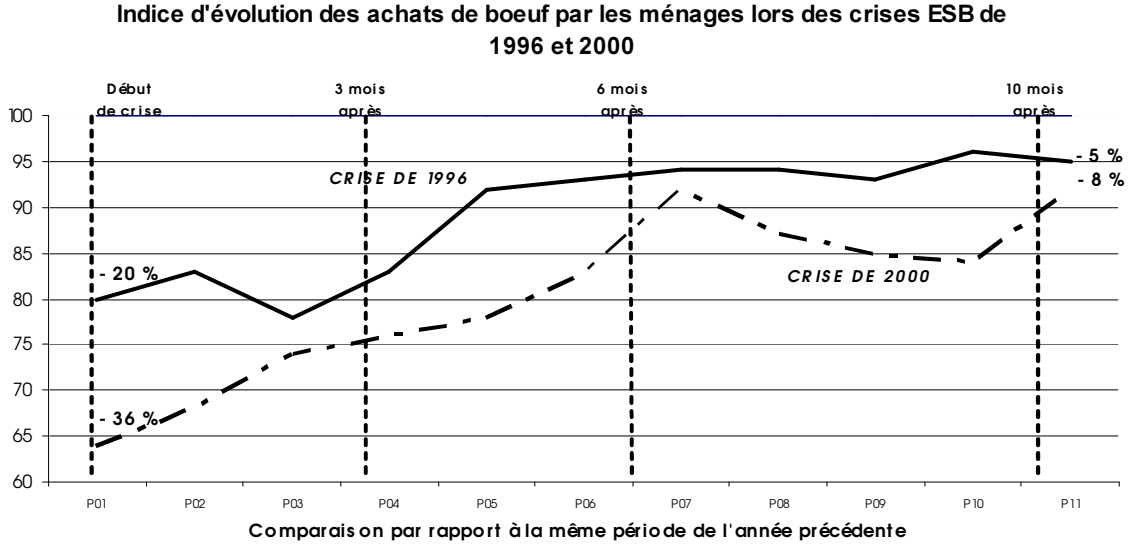
Les G.M.S. émergent au milieu des années 60 et se développent au cours des années 70. Après le premier choc pétrolier, les années 80 sont marquées par une évolution rapide des habitudes alimentaires (produits plus pratiques et surtout plus économiques, crise oblige) tandis que le modèle de distribution moderne se concentre. Le secteur des IAA engage sous l'effet de la centralisation des achats, une véritable réflexion : recherche de valeur ajoutée (explosion des produits élaborés), mouvement de concentration, diversification des débouchés. La filière bovine voit apparaître quelques groupes industriels dont les capitaux sont principalement apportés par l'amont (coopération agricole) ou par la distribution (Casino, Promodès). Mais leur développement est rapidement bridé par la grande distribution qui gère le rayon « viande » comme un rayon à part. L'atelier de découpe intégré au magasin reste la règle, le double rayon (traditionnel / libre service) limite volontairement le développement des UVCI, la segmentation et l'innovation sont des valeurs rejetées purement et simplement car elles remettent en cause, y compris dans la distribution moderne, des modes de commercialisation traditionnels. La consommation de viande bovine commence pourtant à montrer quelques signes de faiblesse qui préfigurent une inversion de tendance qui ne tardera pas à se confirmer. Tout se passe comme si l'on voulait ignorer ces signes essentiels du marché ; la filière bovine continue d'être pilotée sur des critères d'amont et selon une logique de volumes : approche globalisante ignorant la segmentation et empêchant toute appréhension des segments en croissance ou en déclin, gestion par l'intervention publique à l'exception de tout autre mécanisme d'orientation qualitative, pas ou peu de recherche/développement collective…
Tandis que dans la majorité des autres secteurs, l'industrie agro-alimentaire se structure autour de marques fortes, la filière bovine, pourtant dotée de quelques entreprises industrielles, reste en marge de cette évolution.

Les premières grandes évolutions apparaîtront dans les années 1990. Au stade de la distribution, les grandes surfaces ont fini par prendre les parts de marché des artisans stabilisant le partage à 80-20. La concurrence inter-enseignes commence à intégrer la différenciation qualitative et la segmentation (Filière Qualité Carrefour, M.D.D. : marques de distributeurs). Au stade de l'industrie, grande première : un industriel, aux mains de financiers, investit des sommes importantes dans le lancement d'une marque nationale : CHARAL. Parallèlement les autres groupes poursuivent leur développement industriel et leurs investissements. La viande hachée, seul produit réellement élaboré du secteur, commence à être marketée. Au stade de la production, les prémices de réformes successives de la PAC commence à faire entrer le critère qualitatif dans les politiques publiques d'orientation. Mais, face à la montée en puissance de l'industrie de la viande bovine, la grande distribution, soucieuse de limiter ce contre-poids industriel qui menacerait la marge du rayon viande « vache à lait », développe des partenariats avec le secteur de l'élevage qui devient associé des démarches qualité de la grande distribution. L'objectif essentiel, comme c'est le cas des M.D.D., sera de gêner le marketing industriel et de capter la valeur ajoutée. Le risque pour le maillon central de la filière est alors d'être réduit au rôle de prestataire de services.

La situation est donc celle-ci lorsque survient en mars 1996 la crise de l'ESB, qui d'un problème de santé animale devient brutalement une question de santé publique.

Crises et conséquences …

Commençons tout d'abord par observer, grâce au graphique n° 1 ci-dessous, les événements des deux épisodes aigüs de la crise de l'ESB : celui de 1996 et celui de 2000.



Graphique n° 1 (Source INTERBEV d'après SECODIP)

Nous pouvons qualifier le scénario de 1996 de « classique ». Trois phases principales le composent : la phase de crise médiatique proprement dite durant laquelle la consommation chute de 20 % environ et qui dure trois mois. Puis la phase de résorption de la crise durant laquelle la consommation remonte régulièrement pour arriver 6 mois après le déclenchement au plateau des – 5 % qui constitue la phase de convalescence. Cet écart résiduel sera réduit au terme d'une longue période durant laquelle ces derniers points sont les plus difficiles à reprendre. Cette période fera l'objet d'une gestion particulièrement réactive, organisée et précise de la part des professionnels sous la houlette d'INTERBEV (VBF, traçabilité, étiquetage informatif)… comme si tout était prêt dans les cartons et que seule manquait l'occasion de les ouvrir. Cette occasion nous vient du Royaume Uni, bouc émissaire pour une filière française qui se présente comme exemplaire … et cela fonctionne. En parallèle des actions interprofessionnelles, les pouvoirs publics prennent les mesures sanitaires qui semblent s'imposer de l'avis des scientifiques et ordonnent le retrait d'une première liste de matériaux à risque spécifié (dits M.R.S. : yeux, cervelle, moelle épinière …). Ils mettent par ailleurs en place le service public de l'équarrissage (S.P.E.) et son dispositif de financement sous la forme d'une taxe spécifique sur la viande au stade de la distribution de détail. L'ensemble de ces décisions engendre des conséquences économiques directes sous forme de surcoûts et de moins-values que nous analyserons ci-après. Elles sont également génératrices de démarches de progrès dans la filière et dans les entreprises qui se seraient imposées de toute façon, particulièrement en ce qui concerne la traçabilité des produits.

Au-delà d'une maîtrise certaine de la gestion de cet épisode par la filière française, qui nous a mis à l'abri d'un séisme tel qu'il a été vécu en Allemagne par exemple, il faut reconnaître que cette gestion s'est faite en jouant sur le thème de

la confusion « sécurité = qualité ». Cette confusion est parfaitement démontrée par le contenu des cahiers des charges des filières « qualité » développés par les grandes enseignes, contenu essentiellement axé sur la sécurité et la traçabilité. Le dispositif de l'étiquetage informatif obligatoire, promu par le Conseil National de la Consommation, participe également du même principe. Ce choix stratégique, admirablement joué dans le contexte de l'époque, se révèlera être aujourd'hui quelque peu nocif. L'étiquetage informatif obligatoire, en banalisant l'information sur les types raciaux, se retourne aujourd'hui contre les intérêts du troupeau allaitant. On peut aussi penser, a posteriori, qu'en faisant l'impasse sur les vraies revendications du consommateur (la clarification sur le dossier de l'alimentation animale et une qualité minimale de la viande VBF), la filière prépare sans le savoir les conditions d'un second épisode aigü qui surviendra fin octobre 2000. Mais, phénomène aggravant, l'origine de celui-ci proviendra de la filière française.

Le graphique n° 1 montre que le scénario de crise est cette fois-ci bien plus complexe. L'amplitude de la chute de consommation d'abord est bien plus forte : - 36 % en début de crise et jusqu'à – 60 % dans certaines familles de produits comme le steak haché. La filière bovine se voit alors en situation de danger mortel et de nombreux plans sociaux sont élaborés, heureusement rapidement retirés grâce à la mise en place des mesures publiques de soutien du marché qui évitent l'effondrement total des cours et donnent de l'activité aux entreprises. La remontée s'amorcera rapidement mais se fera de façon beaucoup plus lente vers un niveau de consommation dont la particularité est d'être bien chaotique. Il faut sans aucun doute voir dans cette extrême sensibilité des consommateurs à toute nouvelle information, le signe d'une perte de confiance importante de l'opinion envers notre secteur et notre produit.
Ironie de l'histoire, cette crise est née en réalité d'un non événement attestant du bon fonctionnement du dispositif de protection des consommateurs : la vache atteinte d'ESB n'est jamais entrée dans la chaîne alimentaire, pas même dans l'abattoir. Cette crise est néanmoins beaucoup plus violente que la première et il est intéressant de noter que la cible des attaques n'est plus le monde agricole mais la grande distribution, l'industrie (avec une confusion entretenue entre l'alimentation animale, l'industrie alimentaire et l'industrie d'équarrissage) et la restauration collective.

Trois héritages principaux nous viennent de cette période :
- le procès de la « mal-bouffe » et la stigmatisation d'une alimentation qui serait outrancièrement industrialisée donc forcément dangereuse, cette dramatisation alimentant les sentiments de peurs et d'insécurité qui traversent actuellement les sociétés industrialisés.
- Les conséquences directes sur le produit et sa consommation.
- les conséquences économiques et environnementales considérables des décisions relatives au retrait des farines animales, prises dans un contexte de parfaite confusion entre des enjeux de sécurité sanitaire et des surenchères politiciennes.

Les conséquences industrielles

Paradoxalement, le procès de l'industrie alimentaire orchestré par les media s'accompagne d'une exigence de perfection dans les pratiques professionnelles de la part des consommateurs. Il s'avère que cette perfection est souvent synonyme de déploiement de moyens, de concepts et de technologies que seules peuvent maîtriser des entreprises d'une certaine taille. Nous n'avons à ce jour pas de visibilité suffisante sur les conséquences structurelles de la crise de l'ESB sur les entreprises bovines, car ce mouvement n'est pas terminé. On peut néanmoins affirmer sans grand risque d'erreur, que l'exigence technique à elle-seule a conforté le phénomène de concentration du secteur enclenché avant la crise. Les dix premières entreprises de viande bovine en France totalisent à elles seules 70 % des tonnages de viande bovine commercialisés par le secteur.

Les conséquences industrielles des crises peuvent, à notre sens, se classer en deux catégories.
La première comporte les effets de décisions directement imputables aux crises (qui par définition n'auraient pas été prises en l'absence de crise de l'ESB) :
- l'étiquetage obligatoire et les contraintes d'allotement (improductives de plus-values qualitatives) qu'il impose en atelier industriel ;
- le retrait des M.R.S.
- les tests de dépistage de l'ESB ;
- le retrait des farines animales conduisant à une dévalorisation massive du 5ème quartier.

La seconde concerne les actions dont l'apprentissage s'est fait à marche forcée du fait de la crise, mais qui auraient inéluctablement été menées dans nos entreprises. Celles-ci correspondent à leur mutation vers une logique et une stratégie de véritables industriels, responsables et actifs dans un contexte alimentaire concurrentiel. Ces actions sont d'ordre organisationnel (traçabilité, planification des achats…), conceptuel (HACCP, assurance qualité, management environnemental, marketing « produit »…), économique (modification des équilibres-matières, gestion du déchet) et technique (apprentissage de nouveaux métiers : communication, recherche et développement, traitement des déchets et effluents).

Des surcoûts et moins-values incontestables car mesurables

Des différentes mesures évoquées ci-avant, un certain nombre ont été, pour le secteur bovin et pour les entreprises, productives de surcoûts et de moins-values qui entre 1996 et 2001 sont incontestablement venues grever la marge de la filière, imposant de nouvelles contraintes dans les règles de formation du prix de la viande aux différents stades.

Un exercice, sans prétention méthodologique particulière, a été effectué en septembre 2001. Sa vocation, essentiellement pédagogique, était d'apporter une contribution active dans le difficile débat de la répartition des marges au sein de la filière (débat réactivé dans les instances interprofessionnelles par le secteur de l'élevage). Cette contribution consiste à démontrer qu'une partie de la sur-marge apparue pendant la crise par la divergence entre les prix de détail en augmentation et les prix à la production en chute, avait servi à financer ces surcoûts et moins-values. Nous livrons donc ici le résultat de cet exercice, par ailleurs déjà présenté devant l'observatoire des prix et des marges de la filière bovine, instance officielle coprésidée par le Ministère de l'Agriculture et l'OFIVAL. Etablis en 2001, époque où le franc était encore monnaie légale, c'est dans cette unité qu'ont été effectués ces calculs. Ils sont donc présentés ici en francs. Gageons qu'un certain nombre de lecteurs ont encore à l'esprit quelques souvenirs de cette monnaie.

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- Poids de la carcasse froide moyenne : 330 kg
- Poids de viande nette commercialisable par carcasse (rendement 65 %) : 215 kg
- Montant des frais d'abattage : 1 F / kg
- Montant de frais de désossage : 2 F / kg
- Coût d'enlèvement des déchets bas risque : 300 F / T
- Coût d'enlèvement des déchets haut risque : 1.000 F / T
- Moins value commerciale sur les suifs : 0,40 F / kg (baisse de 0,50 à 0,10)
- Moins value commerciale sur les os : 0,20 F / kg (baisse de 0,20 à 0)
- Prix moyen de vente sortie usine : 33 F / kg

Sur la base de ces hypothèses, les différents postes s'établissaient comme suit à la date de l'exercice, les surcoûts étant affectés du signe + et les moins-values du signe -. Il est évident que certains d'entre eux devraient être réactualisés à la baisse (cas du coût du test) ou à la hausse (augmentation des tarifs de prestation des équarrisseurs).

Test E.S.B.	Analyse, logistique et consommable :	+ 240 F	
	Perte de productivité à l'abattoir : 20 % x 330 kg x 1 F / kg =	+ 66 F	**306 F**
Co-produits	Enlèvement du sang et des déchets bas risque : 67 kg x 300 F / T =	+ 20 F	
	Moins-value sur suifs d'abattoir : 36 kg x 0,40 F / kg =	- 15 F	
	Moins-value sur os d'abattoir : 20 kg x 0,20 F / kg =	- 4 F	
	Moins-value sur abats rouges :	- 70 F	
	Moins-value sur os de découpe : 40 kg x 0,20 F / kg =	-8 F	
	Moins-value sur gras de découpe : 45 kg x 0,40 F / kg =	- 18 F	**135 F**
Traçabilité	Coûts directs (logiciels, personnel, consommable, amortissement) :	+ 32 F	
	Perte de productivité en atelier : 30 % x 330 kg x 2 F / kg =	+ 198 F	**230 F**
Retrait des colonnes vertébrales	Main d'œuvre :	+ 100 F	
	Enlèvement des os : 20 kg x 1.000 F / T= (non pris en compte par le SPE à cette époque)	+ 20 F	**120 F**
TOTAL :			**791 F**

Tableau n° 1 : Evaluation des surcoûts et moins values en abattoir suite à la crise de l'E.S.B. (Source : S.N.I.V.)

Ce montant s'élève donc à la sortie de l'atelier de découpe à 791 F par animal ou encore : **3,68 F / kg** de viande nette.

A celui-ci s'ajoute les surcoûts-matières engendrés par la démarche « steak haché 100 % muscle » pour la partie de la carcasse valorisée en minerai soit environ 95 kg sur 215 kg. Ce surcoût, évalué à 0,50 F / kg de minerai, correspond à la perte de productivité en désossage et à la dévalorisation d'un certain nombre de tissus désormais interdits selon le standard « 100 % muscle » dont se sont volontairement dotés les fabricants de steak haché dans le cadre d'une discipline collective. Ce surcoût équivaut donc à **0,22 F / kg** de viande nette. Enfin, la décision gouvernementale de porter le taux de la taxe d'équarrissage de 0,9 à 3,9 % conduit à un surcoût, pour un prix moyen de vente aux distributeurs de 33 F, d'environ **1 F / kg** de viande de nette.

Au total, le coût évalué des mesures de traçabilité et des décisions sanitaires engendrés entre 1996 et 2000 s'élèverait à **4,90 F par kg de viande commercialisée** soit près de 10 % du prix de vente consommateur, ou encore 1.050 F par animal payé à l'éleveur.

Mais les coûts environnementaux restent à venir

L'une des principales préoccupations des industriels en matière de gestion des conséquences de la crise de l'ESB porte sur le dossier des sous-produits, déchets et effluents. L'ensemble des orientations actuelles convergent vers la prise en charge directe du coût d'élimination ou de traitement de ceux-ci par les industriels :

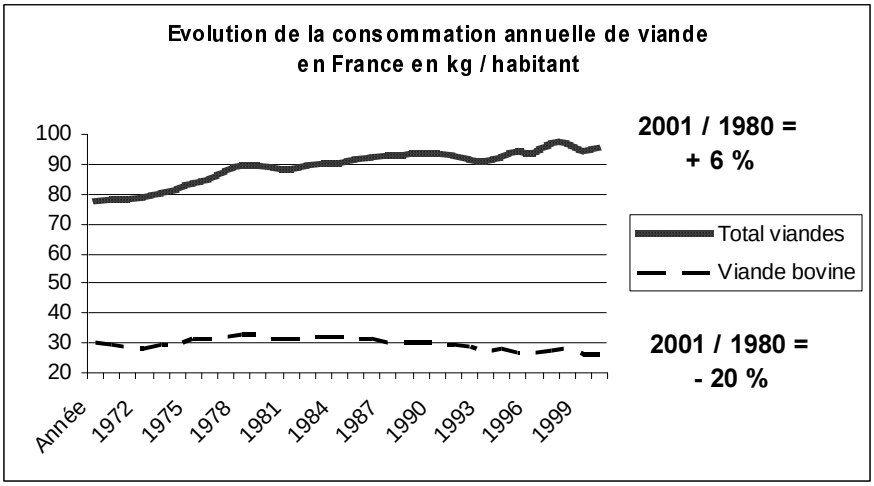
1. Un projet de réglementation européenne sur les sous-produits animaux, doublé de réflexions françaises menées par l'AFSSA et le ministère de l'environnement pourrait conduire à l'obligation de détruire par incinération tous les effluents solides des abattoirs de ruminants avec interdiction d'épandage. Cette obligation, qui actuellement ne vise ni les boues de station d'épuration ni les effluents liquides, est déjà lourde de conséquences ;
2. La taxe d'équarrissage qui finance le Service public de l'équarrissage est contestée par les autorités communautaires et d'aucun en prédise déjà le remplacement par une redevance payée par l'usager, l'abattoir en l'occurrence ;
3. La fin programmée des aides publiques « farines et graisses » bas risque dites « du 14 novembre 2000 » s'accompagne d'un report de charges sur le secteur de l'abattage, grâce à un étonnant phénomène de transparence du secteur de l'équarrissage. Ces aides ont évolué comme le montre le tableau n° 2 ci-dessous :

	Au 1er décembre 2000	Au 1er janvier 2002
Farines animales	2.300 F / T dont aide à l'incinération 700 F	1.718 F / T dont aide à l'incinération 500 F
Graisses animales	2.550 F / T dont aide à l'incinération 700 F	984 F / T dont aide à l'incinération 0 F

Tableau n° 2 : Taux d'indemnisation des farines et graisses animales (Source : décret 2000-1166 du 1er/12/00 modifié)

Le démantèlement amorcé de ces aides publiques s'est déjà traduit par des hausses de tarifs des prestations des équarrisseurs payées par les abattoirs. Si le rapport de force lié à la concentration économique du secteur de l'équarrissage n'a pas été modifié, la nature de la relation commerciale entre celui-ci et les industriels a en revanche été fondamentalement inversée. D'un statut de clients, utilisateurs de nos sous-produits comme matières premières, ceux-ci sont passés à une logique de fournisseurs, prestataires d'un service d'élimination de nos déchets. Leur position hégémonique dans ce domaine fait de nos entreprises une proie facile sur un marché captif. La décision de rechercher, puis de mettre en oeuvre des solutions alternatives d'élimination de nos déchets, en l'absence de perspectives rapprochés de réhabilitation des farines animales, n'est donc plus une hypothèse mais une nécessité.

Par delà les crises, une constante irréversible : la baisse tendancielle de la consommation



Graphique n° 2 : Evolution de la consommation annuelle de viande en kg/habitant en France

Est-il besoin de commenter le graphique n° 2 pour constater que la baisse de la consommation de viande bovine n'est pas un héritage des crises de 1996 et 2000 mais bien le résultat d'une tendance de fond engagée depuis 1980, époque à laquelle les deux évolutions commencent à diverger ? La consommation totale de viande continue son développement, grâce à la volaille essentiellement et dans une moindre mesure, au porc, qui tout deux évoluent sur des marchés déjà segmentés. La viande bovine (bœuf et veau) commence alors sa descente aux enfers.

Pierre SANS confirme et analyse ce constat : « *La place de la viande bovine dans la consommation des viandes est en régression depuis le milieu des années 1970. Il s'agit là d'une tendance générale observée dans tous les pays développés en dépit des différences culturelles* ». Trois tendances de fond se développeraient selon l'auteur dans ces pays :

- une préoccupation croissante pour la santé / nutrition ;
- une aspiration croissante au temps libre (demande des réduction du temps de préparation et recherche de praticité) : la viande bovine reste majoritairement brute et peu élaborée ;
- une recherche de la diversité fondée sur la déstructuration des repas et le mélange des cultures (ethnic food) : la viande bovine reste essentiellement positionnée sur une image traditionnelle garante de valeurs conservatrices.

Des études de marché ou des études socio-économiques récentes conduisent au même constat. Le tableau n° 3 ci-dessous illustre la façon dont le consommateur juge différents produits alimentaires en ce qui concerne le plaisir gustatif :

(En % d'opinions en accord avec la proposition)

	Produits laitiers	**Viande**	Fruits	Céréales
Que tout le monde aime à la maison	66	**54**	61	22
Est savoureux	53	**39**	54	16
Existe dans de nombreuses variétés	79	**38**	58	56
A su s'adapter au goût des consommateurs	76	**19**	19	58

Tableau n° 3 : Comment le consommateur juge-t-il les produits (goût) ? (Source : CIDIL)

Si la viande est dans la bonne moyenne en ce qui concerne son acceptation par un large public de consommateurs (« Que tout le monde aime … »), le plaisir organoleptique qu'elle procure n'en convainc plus qu'une minorité : phénomène inquiétant pour une denrée autrefois centrale dans la composition d'un menu. Les avis semblent également mitigés en ce qui concerne la variété disponible, signe que la segmentation de l'offre selon une logique de découpe bouchère (variété des morceaux de provenances anatomiques diverses) ne répond plus qu'à une minorité de consommateurs. La douche froide nous vient de la dernière affirmation (« A su s'adapter … ») qui est rejetée par 81 % des consommateurs. Le score identique des fruits laisse d'ailleurs à penser que ce problème se pose de façon générale aux produits peu transformés, tandis que les scores élevés des céréales et des produits laitiers montrent que le marketing et la segmentation (très développés sur les produits laitiers ultra-frais et les céréales pour petit-déjeuner) confèrent au produit une image de modernité.

Même constat sur le thème de la praticité dans le tableau n° 4 :

(En % d'opinions en accord avec la proposition)

	Produits laitiers	**Viande**	Fruits	Céréales
Peut se consommer de différentes façons	78	**69**	54	22
Est un aliment indispensable	88	**63**	62	14
Est simple à utiliser	79	**24**	64	50
Est bien adapté aux manières de vivre actuelles	69	**22**	28	52

Tableau n° 4 : Comment le consommateur juge-t-il les produits (praticité) ? (Source : CIDIL)

Les multiples occasions et manières de consommer de la viande sont un point fort, tout comme l'apport nutritionnel qui semble rester présent dans notre culture alimentaire, mais qui pourrait être contesté par la politique nutritionnelle prônée par le Programme National Nutrition Santé (P.N.N.S.) qui favorise les fruits et légumes et le poisson. Le rejet de notre produit en matière de simplicité d'emploi et de réponses satisfaisantes aux exigences de la vie moderne est lui massif.

Nous n'hésitons donc pas à affirmer qu'en matière de tendance de consommation de viande bovine, notre préoccupation essentielle reste de corriger ces handicaps structurels dans un univers de consommation alimentaire impitoyablement concurrentiel. Rappeler cet enjeu de façon aussi crue conduit à relativiser l'impact de la crise de l'ESB, qui malgré son extrême gravité n'a pas été fatale à notre filière. Une première conclusion en forme de pirouette s'impose donc : notre filière semble avoir beaucoup plus de ressources pour lutter contre ce type d'accidents que pour préparer sa riposte face à une tendance insidieuse et lente mais mortelle. A moins que la crise ne lui ait ouvert les yeux … ?

Les conséquences socio-culturelles

La stratégie unidimensionnelle axée sur les aspects sécuritaires et le repli sur le marché national étaient sans aucun doute un passage obligé dans la reconstruction que la crise nous imposait. Nous sommes convaincus que cette étape nécessaire est cependant loin d'être suffisante pour construire l'avenir. Quelques clignotants suffisent à le confirmer : l'effet bénéfique de la crise sur la part de marché de la boucherie artisanale est retombé tandis que le malaise actuel concernant le troupeau allaitant (adéquation quantité / qualité / prix) montre que l'équation « qualité = races à viande = satisfaction du consommateur » est plus du domaine de l'incantation qu'une réalité du marché.

La réalité est en effet bien plus cruelle. Comme le montre le tableau n° 5 ci-dessous, l'effondrement de la consommation en zones urbaines, dans les classes jeunes et aisées, est significative d'une perte sans doute irréversible du statut privilégié et particulier de la viande bovine dans l'alimentation.

		Indice en volume 2001/1999
TOTAL FRANCE		88,3
PAR CLASSES D'AGE	Moins de 35 ans	**83,4**
	35 à 49 ans	87,3
	50 à 64 ans	92,2
	65 ans et plus	88,7
PAR CATEGORIES SOCIALES	Aisée	**82,9**
	Moyenne supérieure	86,6
	Moyenne inférieure	87,2
	Modeste	99,5
PAR TYPES D'HABITAT	Villes de moins de 2.000 hab.	89,9
	Villes de 2.000 à 50.000 hab.	90,3
	Villes de 50.000 hab. et plus	89,2
	Agglomération parisienne	**80,1**

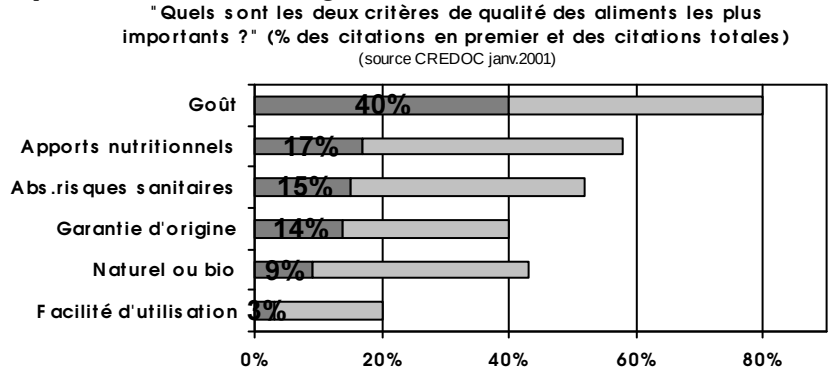
Tableau n° 5 : Evolution des achats de bœuf par les ménages entre 1999 et 2001 (Source : CIV d'après SECODIP)

Le caractère indispensable et la dimension symbolique de la viande rouge (force, virilité) sont des facteurs qui s'effacent, la substituabilité entre produits étant accrue par la variété de l'offre qualitative. La viande bovine est l'un des produits les plus touchés par la disparition du modèle alimentaire unique induite par l'évolution de nos sociétés vers des schémas multi-culturels : diversité des comportements sociaux, multiplicité ethnique, multiplicité générationnelle.

La filière professionnelle doit donc faire, elle aussi, sa « révolution culturelle », en acceptant l'idée que nous ne reviendrons pas au modèle de consommation antérieur. La viande bovine est devenue un produit alimentaire banalisé et interchangeable qui doit défendre sa place et vivre en s'adaptant aux tendances imposées par le consommateur, lui-même finalement guidé par des comportements rationnels dans lesquels il revendique une totale liberté de choix personnel. Partant de cette idée, choquante ou angoissante au premier abord, il faut savoir reconstruire une stratégie de développement fondée sur l'accompagnement, et si possible l'anticipation de ces tendances de consommation. L'heure de l'avènement du marketing de la viande bovine est venue. Un simple exemple suffit à démontrer le décalage existant entre la représentation du marché qu'ont la plupart des acteurs de notre filière et sa réalité : dans l'ensemble de l'économie française, le taux de croissance des dépenses publicitaires est aujourd'hui deux fois supérieur au taux de croissance du PIB. Nous sommes des débutants qui ne demandent qu'à apprendre… et qui doivent apprendre vite !

Comment l'industrie de la viande analyse-t-elle les attentes actuelles du consommateur ?

Tout d'abord, et c'est un peu la surprise que nous avons en observant l'étude du CREDOC pour l'INC réalisée en plein cœur de dernière crise bovine, les attentes organoleptiques demeurent au premier plan des exigences du consommateur, bien avant les inquiétudes sanitaires ou l'origine :



Graphique n° 3

En viande bovine, les chercheurs ont établi depuis longtemps que la qualité organoleptique était un élément multi-factoriel sous l'influence d'un critère essentiel : la tendreté. Celle-ci dépend du type d'animal (âge, finition), de la maturation de la viande et du respect de bonnes pratiques de découpe. Un travail urgent, nécessitant un effort collectif, est à faire en ce sens. Aujourd'hui, face à cet enjeu majeur, la filière répond « races » alors que les chercheurs confirment l'aspect très théorique de la relation entre type racial et tendreté. Le projet des « Bonnes pratiques professionnelles » apparaît sans doute plus effectif à condition, ce qui n'est pas le cas actuellement, d'en accepter les véritables contraintes : finition des animaux de réforme, mise en place de règles de formation des prix plus objectives et plus discriminantes, accroissement des durées de maturation, codification des pratiques bouchères.

Comme nous avons pu le voir précédemment dans le tableau n° 4, la praticité du produit et son adaptation aux modes de vie, mais sans doute aussi son attrait pour l'acheteur, constituent le second axe de travail. Les premiers signaux du marché sont à cet égard encourageants. On constate en effet, selon l'enquête réalisée par le S.N.I.V. auprès des industriels de la viande bovine, qu'en 2000, les produits de viande bovine marketés par les industriels ont représenté 30% de la consommation française en dépassant le tonnage de 400.000 T.E.C. Alors que la part de viande commercialisée auprès des circuits de distribution sous forme de viande avec os et de muscles sous vide s'est stabilisée entre 1995 et 2000 (avec des transferts de la première catégorie vers la seconde), les volumes d'U.V.C.I. (unités de vente consommateur industrielles) ont progressé de plus de 20 %. Le tableau n° 6 ci-dessous montre la progression d'un certain nombre de segments particuliers :

	Tonnage net des adhérents SNIV	Evolution 1995 - 2000
Consommation nationale globale de viande bovine		- 7 %
Viandes piécées réfrigérées sous marques industrielles	30.000 T	+ 12 %
Viandes hachées et préparations réfrigérées	77.500 T	+ 7 %
Saucisserie	20.000 T	+ 81 %
Produits saisonniers d'été (brochettes, plateaux grill …)	10.000 T	+ 86 %
U.V.C.I. surgelées	110.000 T	+ 23 %

Tableau n° 6 : Production d'U.V.C.I. par les industriels (Source : S.N.I.V.)

Le déclin de la boucherie artisanale et les modifications structurelles dans le secteur de la grande distribution (difficulté de recrutement de bouchers professionnels, 35 heures, contraintes de la traçabilité, difficulté de maîtrise du risque sanitaire …) confirment cette évolution inéluctable vers le développement du libre service et de l'U.V.C.I. , à l'image de celle observée depuis longtemps dans le secteur de la volaille.

Cette nouvelle logique industrielle dépasse largement les clivages traditionnels, parfois idéologiques, de la filière : rayon traditionnel / rayon libre service, races laitières / races à viande …
D'ores et déjà, l'organisation industrielle conduit à une appréhension transversale de la matière première, à l'exception de la valorisation de quelques morceaux caractéristiques (filet, entrecôte, faux-filet, bavette, onglet…). La difficile question de l'équilibre des différents muscles issus de la carcasse qui se pose aujourd'hui aux industriels condamne à terme, pour une partie centrale du marché, le raisonnement traditionnel de la valorisation « verticale » carcasse par carcasse. Ceci ne s'oppose d'ailleurs pas, à la consolidation d'un segment de valorisation plus traditionnelle qui peut rester significatif, l'objectif de 20 % du marché nous apparaissant crédible. Mais de façon générale, il est fortement probable qu'une évolution dans les modalités de formation des prix au différents niveaux de la filière soit nécessaire. La prochaine arrivée de la machine à classer dans les abattoirs est un signal précurseur de cette évolution.

Les crises ne doivent pas masquer les évolutions structurelles du marché. Avec retard, la filière bovine entre dans l'ère du marketing industriel, qui désormais est en marche. Nous sortons, pour reprendre une expression du GIRAG, d'une période de « marketing de techniciens et de marketing de frustration » pour aller vers un véritable marketing positif et conquérant. Ce mouvement se fera t'il au profit des acteurs industriels en relation avec la production ? Rien n'est joué face à la stratégie actuelle de la distribution qui dans tous les secteurs cherche opportunément, et avec savoir-faire, à s'emparer au travers des MDD, des initiatives de segmentation qualitative. L'enjeu est aussi de cette nature.

———

Economie de la filière

Animateurs : P. Mainsant (INRA-Ivry) et M. Saudan (ADIV).

Communications orales

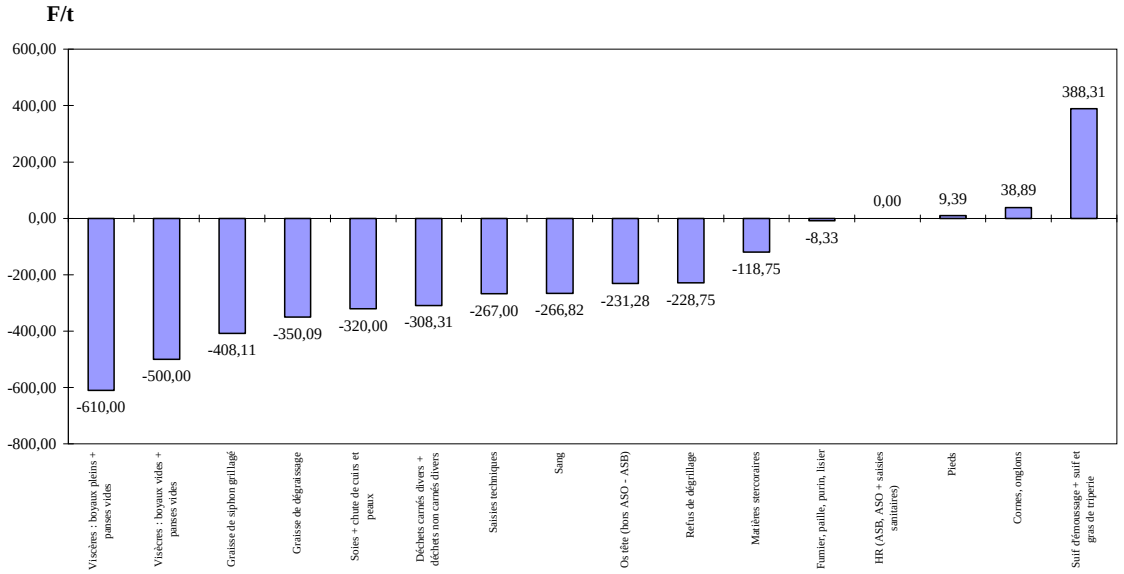
LE COUT DES DECHETS ET SOUS PRODUITS EN ABATTOIRS

M. SAUDAN – ADIV 2 rue Chappe – 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

A la demande d'OFIVAL[1], l'ADIV[2] a engagé, mi 2000, une étude sur la faisabilité technico-économique de solutions de traitement-élimination, in situ, des déchets d'abattoir. L'étude impliquait de caractériser la situation économique de l'ensemble des co-produits de l'abattoir pour servir de référence dans l'évaluation de l'intérêt des nouvelles solutions envisagée. Or durant la conduite de cette étude se produisait la 2ème crise de l'ESB (fin 2000 – début 2001) avec ses conséquences réglementaires et/ou économiques sur certains co-produits déplaçant encore (cf. crise de 96) le curseur sur l'échelle du statut : co-produit, sous-produit, déchets à éliminer.
Il a donc été nécessaires de réactualiser plusieurs fois la caractérisation économique des co-produits d'abattage. La comparaison de ces situations économiques des co-produits selon la période (mi 2000 – début 2001 – début 2002) permet de mettre en évidence l'ampleur des effets de cette 2ème crise.

A titre anecdotique aujourd'hui, on peut d'abord rappeler quelle était pour l'abattoir la situation, à mi 2000, en terme de recettes ou dépenses liées aux sous-produits.

RECETTES OU DEPENSES PAR TYPE DE SOUS-PRODUIT (mi 2000)



Ces données sont issues d'une enquête conduite auprès d'une soixantaine d'abattoirs représentatifs de la diversité des situations (taille, structure d'activité par espèce, localisation, …) : il s'agit de valeurs moyennes « pondérées » par le tonnage prenant donc en compte des effets éventuels de la taille des abattoirs. On ne peut que constater que déjà, mi 2000, la majorité des sous-produits conduisait à des dépenses puisque seuls 3 d'entre eux, les suifs en premier lieu, et à moindre titre les cornes plus onglons et les pieds généraient en moyenne une recette. Pour les matières à risques spécifiés (HR sur le graphique, soit ASO + ASB + saisies), l'enlèvement dans le cadre du Service Public de l'Equarrissage avait été considéré économiquement comme sans effet pour l'abattoir.
Mais dans la suite de l'étude, et donc pour les données suivantes, c'est un prix dit de marché qui a été retenu incluant les dépenses non seulement de l'abattoir mais aussi de l'Etat au travers d'abord du Service Public de l'Equarrissage (depuis 1997) puis de l'indemnisation de la fabrication des farines et de leur incinération (fin 2000). Ce point de vue se justifie par l'objectif de l'étude à savoir évaluer l'intérêt de nouvelles solutions techniques par rapport à un contexte existant. De plus, comme démontré actuellement, la durabilité des subventions ou indemnisations est pour le moins aléatoire.
Compte tenu des effets quantitatifs et qualitatifs, à la fois des volumes abattus et des espèces traitées, 7 cas d'abattoirs ont été retenus pour disposer d'une typologie représentative des gisements de sous- produits disponibles. Pour chacun d'eux, diverses hypothèses ont été fixées sur les caractéristiques des sous-produits pris en compte (totalité ou non des

[1] Office Interprofessionnel des Viandes
[2] Association pour le Développement de l'Institut de la Viande

sous-produits/pressage ou non des matières stercoraires, soies, …/ vidage ou non des boyaux, …). Pour mettre en évidence l'évolution du prix de marché des sous-produits d'abattage, les 7 situations suivantes peuvent être observées.

Taille abattoir (TEC/an)	**700**	**2 200**	**3 000**	**4 000**	**12 000**	**23 800**	**28 000**
Activité selon espèce	**polyvalent**	**Dom. ruminants**	**Spec. ovins**	**Polyvalent**	**Dom. ruminants**	**Spéc. porcs**	**Dom. Ruminants**
Volume sous produits (t/an)	387	1 679	1 670	1 370	9 540	4 524	13 617
Hypothèses gisement sous-produits	▫ non pressé ▫ non vidé ▫ tout	▫ non pressé ▫ non vidé ▫ tout	▫ pressé ▫ vidé ▫ tout	▫ non pressé ▫ non vidé ▫ sauf : HR Sang fumiers	▫ non pressé ▫ non vidé ▫ tout	▫ non pressé ▫ non vidé ▫ tout	▫ pressé ▫ vidé ▫ tout

Mi 2000, avec les prix et coûts présentés précédemment, le prix de marché moyen de sous-produits généré dans chaque abattoir s'établissait ainsi :

Taille (TEC)	**700**	**2 200**	**3 000**	**4 000**	**12 000**	**23 800**	**28 000**
Prix de marché mi 2000 F/t sous-produit	- 215	- 196	- 190	- 173	- 206	- 64	+ 32

La variabilité des situations, autour d'un coût moyen pondéré de 85 F/tonne de sous-produit est liée à la fois à un effet des espèces abattues sur les caractéristiques du gisement mais aussi un effet de la taille sur les capacités de négociations des prix.
De mi 2000 à début 2002, les diverses mesures réglementaires consécutives de la crise mais aussi les réactions de l'environnement des abattoirs (cf. commercialisation des suifs d'émoussage, possibilité d'épandage des matières stercoraires, …), ont généré une évolution du prix de marché de leurs sous-produits qui peut aussi être caractérisée :

Type d'abattoir (TEC/an)	**700**	**2 200**	**3 000**	**4 000**	**12 000**	**23 800**	**28 000**
Rappel prix de marché mi-2000 (F/tonne sous-produit)	- 215	- 196	- 190	- 173	- 206	- 64	+ 32
Prix de marché janvier 2001 (F/tonne sous-produit)	- 657	- 621	- 836	- 655	- 583	- 798	- 618
Prix de marché février 2002 avec simulation incinération des farines (F/tonne sous-produit)	- 663	- 636	- 810	- 650	-609	- 805	- 641

De mi 2000 à début 2001, la dégradation économique de la situation s'avère donc considérable : le prix moyen pondéré est passé de – 85 F/tonne à – 645 F/tonne de sous produit. De début 2001 à début 2002, l'évolution paraît moins important même avec la simulation d'une éventuelle incinération des boues de station (cf. position européenne prise fin 2001, …) dans la mesure où les boues propres de l'abattoir sont récupérables (75% des abattoirs n'étant pas équipé pour cela). Mais en rapportant les dépenses générées par le traitement des sous-produits au tonnage abattu avec l'augmentation des volumes à éliminer, l'ampleur du problème posé aux abattoirs se révèle considérable.

Coût en F/TEC

Type d'abattoir (TEC/an)	**700**	**2 200**	**3 000**	**4 000**	**12 000**	**23 800**	**28 000**
Mi 2000	120	150	105	60	165	10	« +15 »
02/01	360	470	465	220	460	150	300
01/02	450	570	560	310	560	150	395

IMPACT DE LA CRISE ESB SUR L'INDUSTRIE DE L'EQUARRISSAGE

F. BELLANGER - Attaché de direction SPE - ETS CAILLAUD / GROUPE CAILLAUD * -
frederic.bellanger@caillaud.fr

La crise de l'ESB a engendré une profonde mutation de l'industrie de l'équarrissage qui se poursuit encore aujourd'hui, plus de six ans après qu'elle soit survenue. Sur cette période, l'équarrissage a fait face à plusieurs évolutions majeures de la réglementation, à la dévalorisation graduelle et chaotique de catégories importantes de co-produits représentant pour le Groupe CAILLAUD une part significative de son activité, conduisant à des transferts d'activité au sein des usines, à la contraction de l'offre produit commercialisable et au développement d'une activité de service.

Restrictions cumulatives réglementaires (et législatives)

Les années 90 ont débuté en France par deux importantes mesures réglementaires en réaction à l'évolution de l'ESB en Grande-Bretagne, consacrant deux premières restrictions d'utilisation : l'interdiction d'utiliser les protéines animales dans l'alimentation des bovins (AM du 24-07-1990) puis l'extension de cette mesure à l'ensemble des ruminants (AM du 20-12-1994).

Avec le déclenchement de la crise en 1996, l'évolution de la réglementation a pris un tournant inédit fixant des enjeux majeurs à la filière des « produits animaux » et des contraintes complexes à l'industrie de l'équarrissage qui est entrée dans une phase de profonde mutation. L'obligation de destruction par incinération des produits finis (farine de viande et graisse animale) issus des cadavres d'animaux, des saisies d'abattoir et des matériels à risque spécifiés ou MRS (AM du 28-06-1996) a été rapidement suivie par la mise en place du service public de l'équarrissage (SPE) instituant des modalités de financement par l'Etat de la collecte et de l'élimination de ces matières effectives au 01-01-1997 (Loi du 26-12-1996). Peu après, l'obligation d'adopter le système de traitement thermique 133°C-20mn-3bars pour l'alimentation animale a eu - au cas par cas - des répercussions complexes. Elle a notamment nécessité le renouvellement de l'agrément sanitaire de tous les sites. Parallèlement, le statut sanitaire des produits et co-produits de ruminants commercialisés a fait l'objet d'une analyse scientifique méthodique et la liste des MRS s'est sensiblement allongée sur la période 1996-2000.

Le second épisode de la crise est arrivé en France en octobre 2000 et quelques semaines plus tard (AM du 14-11-2000), l'application du principe de précaution a conduit les pouvoirs publics à prendre une ultime mesure, la suspension généralisée de l'utilisation des farines et graisses animales dans l'alimentation de tous les animaux destinés à l'alimentation humaine, dans l'attente d'informations scientifiques plus précises sur les risques sanitaires éventuels liés à cette utilisation, obligeant ainsi la destruction par incinération des 600 000 tonnes environ de farines produites chaque année.

Dévalorisation des co-produits d'abattoir

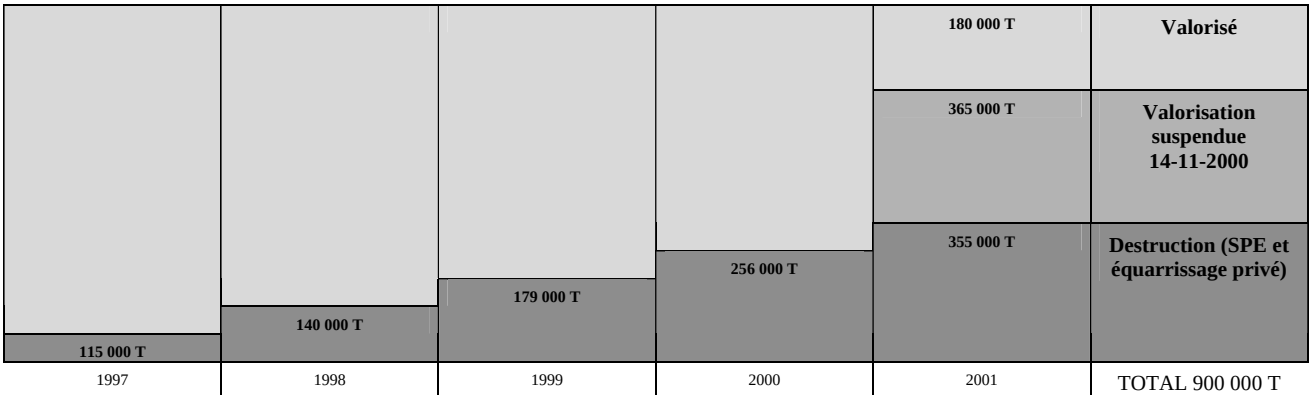
Le processus réglementaire a eu un effet cumulatif qui a déprécié une part significative du 5ème quartier, reléguant de nombreux co-produits d'abattoir au statut de déchets à éliminer, selon des modalités d'une relative complexité.

D'une part, les matières éliminées au titre du SPE sont listées très précisément. Il s'agit :
- des abats et parties osseuses de ruminants considérés comme MRS (liste régulièrement réévaluée),
- et globalement des déchets à haut risque tels que définis dans la liste de l'annexe I de l'AM du 30-12-1991 (points 1 à 4, 8 et 9), notamment les viandes, abats et co-produits animaux - y compris le sang - saisis à l'abattoir reconnus impropres à la consommation humaine et animale,

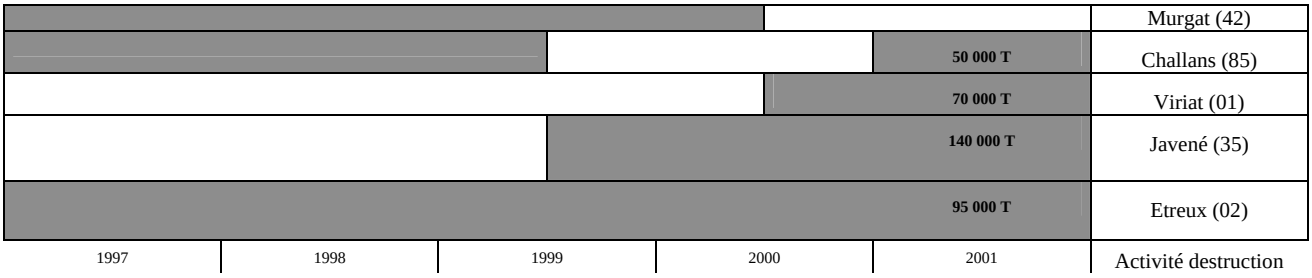
D'autre part, la disposition réglementaire introduite le 14-11-2000 vise une liste de produits finis en lien avec les co-produits dont ils sont issus. L'Etat a accompagné sa sortie d'une mesure indemnitaire transitoire (décret du 01-12-2000) et dégressive dans le temps pour la production et l'incinération des produits suspendus, incluant le cas échéant un financement pour l'entreposage provisoire, mesure qui - pour partie - touche à sa fin.

De plus, l'économie du système de valorisation des co-produits a été profondément déséquilibrée sous le double effet de la baisse des prix de marchés, consécutive à la contraction de la demande, et de l'augmentation des coûts de production liée aux nouvelles contraintes réglementaires. Aujourd'hui, les prix de marché ne couvrent plus les coûts de production pour une majorité de co-produits d'abattoir qui sont devenus une charge à l'échelle de la filière « produits animaux », la valorisation restant moins coûteuse que l'incinération.

Dans ce contexte le Groupe CAILLAUD a dû - sur la période 1997-2001 - réaliser à volume constant (900 000 tonnes) des transferts de tonnages de matières considérables entre les activités de traitement pour valorisation et les activités de traitement pour destruction :



Pour faire face, le Groupe CAILLAUD a été conduit à restructurer profondément son activité sur cette courte période en réaffectant les usines agréées pour le traitement des matières haut risque et adapter progressivement ses capacités aux besoins de destruction :



Réorientation du métier

L'évolution des techniques et des méthodes, de la réglementation et, d'une manière plus générale, du rôle pris par la profession, a relégué le clos d'équarrissage aux images du passé. L'activité artisanale des débuts est devenue une industrie dotée de véritables capacités d'investissements*. Ces capacités sont aujourd'hui indispensables pour faire face au renforcement des exigences réglementaires notamment en matière de procédé de traitement.

Le métier a fondamentalement évolué - à partir du même outil industriel - avec le développement d'une activité de service qui se substitue pour partie à l'activité marchande initiale génératrice de co-produits commercialisables. La transformation de la matière s'oriente vers la finalité d'un produit stable et combustible. Un partenariat important a été mis en place avec 27 cimenteries, usines d'incinération de déchets industriels ou centrales de chauffe pour l'incinération des farines animales. En complément, le Groupe étudie la possibilité d'équiper ses sites d'incinérateurs adaptés à la destruction aussi bien de matière crue que de farines, ou d'un mélange des deux, pour pouvoir répondre avec souplesse à la fois aux impératifs d'élimination des farines produites et à l'écrêtement des pointes de charge. L'analyse de cette opportunité est rendue particulièrement délicate par les incertitudes sur la pérennité des mesures de suspension du 14-11-2000 d'une part et les possibilités des marchés de valorisation dont l'accès est réglementairement de plus en plus complexe d'autre part, alors même que l'offre internationale en la matière fait significativement baisser les prix.

Avec la crise de l'ESB, de nouvelles demandes de prestations de service se sont fait jour concernant les opérations de police sanitaire déclenchées par les autorités. L'équarrissage a pris une part active en matière d'épidémiosurveillance de l'ESB, mettant aussi à disposition des services vétérinaires des moyens de proximité importants pour les euthanasies sanitaires. L'éradication de la tremblante constitue une évolution de cette activité.

La crise a eu un impact considérable sur le secteur de l'équarrissage qui a su faire preuve d'une grande réactivité face aux enjeux majeurs auxquels il a été confronté, au même titre que l'ensemble de la filière « produits animaux ». Il a su s'adapter et faire évoluer son métier pour préserver son avenir. Il lui reste cependant à relever un déficit d'image accumulé notamment au travers des retombées médiatiques négatives de la crise de l'ESB.

* Le GROUPE CAILLAUD - filiale de TESSENDERLO GROUP - en 2001

145 millions d'euros de CA **consolidé**
14 millions d'euros **investis**
1 015 personnes **employées**

Activités dans le cadre du service public d'équarrissage

1 040 000 animaux ou lots de petits animaux **collectés**
350 abattoirs et ateliers de transformation **desservis**
4 200 bouchers **desservis**

135 000 T de farines suspendues **fournies** à l'incinération ou stockées en attente d'incinération
65 000 T de farine SPE **fournies** à l'incinération

Produits commercialisés

31 000 T de **corps gras** (pet food et usages techniques)
38 000 T de **protéines** (gélatine et pet food)
105 000 T de **graisses animales** (combustible de substitution)

CONSOMMATION DE VIANDES, AVANT PUIS APRES L'ESB, EN FRANCE ET EN UE.

P. MAINSANT - INRA LORIA

Globalement depuis 40 ans, la présentation de l'offre de viande de boucherie au consommateur est restée traditionnelle. Pour l'essentiel, elle est toujours vendue en frais, surtout en France, plutôt qu'en surgelé. Certes l'offre en préemballé est devenue très majoritaire, mais il ne s'agit que d'un service. Les produits pour l'essentiel n'ont pas changé de définition. La petite part de l'offre de plats cuisinés à base de viande augmente certes partout, mais son rôle est encore marginal. La segmentation de qualité est restée très marginale jusqu'en 1996, excepté en poulet qui en France avait très précocement structuré son offre pour répondre aux changements de préférences (voir plus loin).

Autrefois réalisée par un artisanat commercial spécialisé, la distribution de viande aux ménages a été peu à peu prise en charge par les GMS au cours des 40 dernières années, à l'instar de l'ensemble des produits alimentaires. La viande n'a pas fait exception, et la distribution moderne a phagocyté peu à peu l'ensemble des attributs « produit » de la boucherie traditionnelle, dont la fraîcheur, et plus récemment la « qualité ».

De 1960 à 1980, revenu et prix ont été les deux mamelles de la croissance de la consommation et de ses substitutions internes. Comme dans tous les pays développés, en UE et en France, la consommation totale de viandes a été dynamisée par la croissance du revenu et par la baisse du prix relatif de l'offre de viande au détail. Cette baisse de prix vient des progrès de productivité en production, en industrie et en distribution. Ces progrès n'ont pas été homogènes selon les espèces, et le bœuf ayant souffert de progrès moindres que les porcs et volailles, son volume a augmenté, mais plus lentement, et sa part relative a baissé sans discontinuer.

De 1980 à 1995, les changements de préférences ont modifié sensiblement la donne « prix-revenu ». Les substitutions, précédemment dirigées par les prix relatifs, deviennent beaucoup plus souvent le résultat de changements dans les préférences des consommateurs, vis à vis des caractéristiques des produits, plus précisément en fonction de leur adaptation à la vie moderne. Ainsi les produits qui font gagner du temps, qui plaisent aux enfants, qui sont porteurs de symboles, qui ont fait l'objet d'investissement de communication, ont pu avoir un destin dynamique, quelque soit l'évolution de leur prix relatif (ex : jambon cuit, viande hachée, plats cuisinés). La valeur du produit est devenue pour une part croissante le fait d'attributs ajoutés, les marques et les symboles par exemple. Les réputations des valeurs nutritionnelles des produits, marquées par ce contexte, suivent des mouvements de mode et sont plutôt défavorables aux viandes rouges, dont essentiellement le bœuf. Celui ci commence à régresser en volume absolu vers 1985 et cette tendance traverse les crises ESB.

L'urbanisation de la population a fini par éloigner le consommateur de la production agricole, provoquant une incompréhension, puis une méfiance croissante vis à vis de l'évolution des techniques de production, perçues comme un danger potentiel. Les consommateurs expriment peu à peu une demande croissante de santé humaine, puis de respect de la nature. L'apparition de réglementations sur l'usage des hormones, les résidus de pesticides et d'antibiotiques, et sur les nappes phréatiques ont témoigné de cette tendance. La consommation de viande a été peu concernée, excepté ponctuellement avec les hormones (boycott puissant du veau en France en 1980). Un fait très défavorable passe inaperçu dans les années 80 : les jeunes et les éduqués consomment de moins en moins de viande. La montée en puissance de cette méfiance des citadins va trouver son exutoire en 1996.

Depuis 1996, l'abcès crève et la consommation de viande entre sous l'influence de l'ESB. La crise éclate en UE au printemps 96 par la révélation de la contamination de l'homme par l'ESB. La consommation de bœuf s'effondre au RU et en France (-30%), mais elle retrouvera presque son niveau antérieur quelques mois plus tard. En France, de nombreuses mesures ont rassuré l'opinion, essentiellement le retrait des MRS en abattoir. La filière bovine entre dans une démarche de réassurance complémentaire du consommateur : traçabilité générale du bœuf jusqu'au consommateur et segmentation massive du bœuf par CCP (Certification de Conformité Produit). La consommation des ménages se « re-nationalise ». Toutes ces mesures entraînent des coûts (équarrissage, traçabilité et segmentation) qui passent inaperçus grâce aux baisses de prix à la production.

Le sujet « ESB » reste toutefois présent dans l'actualité après 96 et envahit toute la sphère viande et alimentaire. Sa valeur symbolique est très puissante : des vaches herbivores, transformées en carnivores par l'appât du gain, ont tué des hommes. D'autres crises alimentaires surgissent, favorisées par le contexte ESB. En octobre 2000, lors d'un fait divers sur une vache ESB dissimulée dans une campagne française profonde, le scandale éclate à nouveau, traduisant une inquiétude latente et persistante des consommateurs. La consommation française de

bœuf s'effondre cette fois jusqu'à - 50 %. Par un effet de contagion, l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne vont connaître en 3 mois les mêmes effondrements lors de leurs 1er cas de vache ESB.

Comme lors de la 1ère crise, l'effondrement ne dure pas, et en France le retour à une consommation de bœuf quasi normale se produit en 8 mois. Des mesures spectaculaires ont été prises, qui ont rassuré (interdiction généralisée des farines de viandes, tests ESB sur tous les bovins, destruction de tous les abats à risque…) La trace résiduelle de la 2ème crise est évaluée aujourd'hui à une perte de 5 % de la consommation de bœuf, qui se décompose en deux éléments : disparition de quelques consommateurs (2%) et petite diminution du niveau moyen de consommation. Dans quelques autres pays de l'UE, touchés aussi par la 2ème crise, le retour à la « quasi-normale » en terme de niveau de consommation se fait parfois plus difficilement : alors qu'en Italie c'est fait depuis mi 2001, en Allemagne des éléments nouveaux ont retardé ce retour en 2002.

En France, les mesures prises lors de cette 2ème crise a ont été très coûteuses, et l'inflation des coûts de production, de transformation et de distribution est cette fois considérable. Les prix de détail sont presque tous en hausse en 2002 malgré les effondrements des prix à la production dans toutes les viandes. Alors qu'AGENDA 2000 avait programmé une baisse générale des prix à la production, la 2ème crise ESB a déjà anéanti l'effet de cette baisse sur les prix de détail.

On peut raisonnablement penser qu'une 3ème crise ESB n'est pas probable. La crise ESB a fini par perdre peu à peu son actualité dans les médias français en 2001. Celle ci tenait surtout aux effectifs de vaches déclarées ESB. Puisqu'elles provenaient d'une contamination qui a été massivement réduit en 96, et puisque la durée d'incubation moyenne est de 5 ans, on devrait assister à la disparition progressive des cas cliniques en 2003 dans les principaux pays touchés (RU, Irlande, France, Allemagne, Espagne, Italie, Portugal, Suisse). Le phénomène des super naïfs, quoique mystérieux, n'ayant pris d'ampleur dans aucun de ces pays, on peut espérer qu'il n'envahira pas les médias après 2003. La mortalité nvMCJ est en nette régression au RU depuis 2001, et un cumul prévisionnel d'environ 200 morts au total est assez largement admis par les scientifiques, ce qui relativise radicalement les anciens scoops sur le danger de l'ESB (ex : 600 000 morts). Si les médias européens sont en train de se lasser du sujet « ESB », par contre l'opinion européenne, profondément marquée par la 2ème crise, en gardera une méfiance durable vis à vis du complexe agro-alimentaire modernisé.

Après 2003, la trace de l'ESB dans les filières viandes devrait se limiter à la satisfaction rémunérée d'une forte demande de naturalité. Toutes les mesures prises pour prévenir l'ESB sont installées pour longtemps. L'une d'elles, **la traçabilité,** constitue un changement radical plus ou moins généralisé dans l'UE pour l'espèce bovine ; elle se diffuse déjà dans les filières porc et agneau. Cette mesure constitue un socle pour toutes les démarches de réassurances que sont les segmentations de « qualité ». Le « **bio** » se trouve bien entendu appelé à se développer dans tous les pays, mais en gardant une vocation de « niche » exigeante. **L'agriculture raisonnée**, qui est en voie d'adoption en France, constitue un mouvement qui a vocation à s'imposer comme standart de base. Entre ces deux extrêmes s'installent diverses démarches de « qualité », (**label rouge, certification produit, IGP, AOC, marques**). Tout cet ensemble tentera de satisfaire les nouvelles demandes « alimentaires » issues de la crise ESB. Celles ci portent sur la « naturalité » des process de production et de transformation. Ces réponses vont présenter une grande diversité. Aucune ne vise un retour au moyen âge, et la modernité des filières ne sera pas remise en cause pour l'essentiel.

Ce consentement à payer la « naturalité » constitue un gisement de valeur loin d'être épuisé. Les consommateurs, qui ont acquis une vigilance nouvelle, vont rémunérer ces segments selon leurs divers consentements à payer, et selon les arbitrages des sociétés de distribution. En France, l'adaptation des GMS à cette évolution de la demande est déjà très visible, et aucune révolution du commerce alimentaire n'est donc en cours. Il est remarquable que les investissements d'image des grandes enseignes se fondent largement sur ces nouvelles demandes, et que les GMS françaises exploitent ce mouvement à travers leurs animations commerciales. Cet intérêt subit des GMS laisse entrevoir une croissance durable des volumes segmentés.

On le voit, la consommation des produits des filières alimentaires n'est pas menacée à long terme par la trace « ESB » dans l'opinion des consommateurs. Les niveaux de consommation ne seront modifiés qu'à la marge. Par contre les valeurs financières de ces consommations sont appelées à augmenter. En effet toutes les modifications introduites dans les filières ont un coût, et celui ci sera rémunéré par les nouveaux « consentements à payer » issus de la crise. Dans nos sociétés riches, éduquées et urbanisées, ces consentements à payer sont actuellement abondants. Les GMS l'ont visiblement compris. Enfin les efforts de communication des filières devraient se soucier de **reconquérir les jeunes et les éduqués**, qui avaient déjà donné des signes clairs d'abandon avant l'ESB.

LA TRAÇABILITE ET LES CONSOMMATEURS DE VIANDE BOVINE FRAICHE

G. GIRAUD, C. AMBLARD - UR Typicité Des Produits Alimentaires - ENITA De Clermont-Ferrand

La France a géré l'après ESB avec la traçabilité des viandes bovines comme norme. L'ensemble de la filière a dû faire face très vite à des problèmes de mise au point, d'application et maintenant d'amortissement économique du coût supplémentaire occasionné. La valorisation de l'effort auprès de la distribution et plus particulièrement des consommateurs est restée en suspens. Le principe d'incorporation conduit au rejet massif de tout argumentaire technologique sur l'alimentation. Il y a donc une probabilité très forte de dissonance cognitive entre le besoin de réassurance du consommateur et la façon dont la filière y répond par la traçabilité, terme technique s'il en est.

De nombreuses questions se posent pour qui cherche à qualifier la perception de la traçabilité par le consommateur de viande. Quelles sont les garanties de la traçabilité que perçoit le consommateur ? Origine ? Race ? Hygiène ? Marque ? Quels sont les mots-clefs que le consommateur est prêt à entendre sur la traçabilité des viandes ? Que perçoit le consommateur de viande bovine : une viande tracée ou une viande racée ? La notion de circuit identifié est-elle plus évocatrice que celle de traçabilité auprès du consommateur final ?

Une mesure de la signification de la traçabilité des viandes pour le consommateur a pu être réalisée à l'occasion d'un programme de recherche[1] sur la perception par le consommateur des races à viande du Massif Central. Le matériau ci-après analysé a été recueilli à l'aide de groupes de discussion puis d'une enquête de sortie de caisse menée auprès de 383 consommateurs en mai et juin 2001 dans le département du Puy de Dôme. Les résultats présentés ici relèvent uniquement des questions relatives à la perception de la traçabilité.

METHODES & RESULTATS

Les deux groupes de discussion ont servi à construire le questionnaire de l'enquête quantitative grâce à l'analyse du *verbatim* des 23 participants. Deux des dix questions concernaient la traçabilité :

«D'après vous, à quoi sert la traçabilité de la viande ?» pour une mesure de perception spontanée, puis

«*Soyons plus précis, à quoi sert la traçabilité de la viande, vous avez le choix d'une réponse parmi les suivantes:*

- ☐ *Elle permet de retrouver rapidement un lot défectueux et dangereux à la consommation.*
- ☐ *Elle permet une meilleure transparence des conditions d'élevage et d'abattage des animaux.*
- ☐ *Elle permet de restaurer la confiance des consommateurs sans trop d'information sur l'étiquette.*
- ☐ *Je ne sais pas*» pour une mesure de perception assistée.

Ces définitions permettent de distinguer trois états de perception de la traçabilité. La première définition proposée aux consommateurs interrogés est technophile, elle est plus proche de l'acception professionnelle et technique de la traçabilité. La seconde définition proposée est zoocentrique, elle est plus proche des développements médiatiques et de la sensibilité exacerbée de notre société aux conditions de vie animales. La troisième est anthropocentrique, elle est plus orientée vers les attentes des consommateurs.

La traçabilité selon le verbatim des groupes de discussion entre consommateurs

Durant les groupes de discussion, le terme traçabilité est évoqué de façon floue par les consommateurs. C'est un terme qui n'est pas compris de la même façon par tous. Certains, très rares, peuvent le définir, la plupart en sont incapables. Le consommateur associe la traçabilité à l'origine de l'animal. Il y a une certaine méfiance vis à vis de la traçabilité de la viande, mais les répondants déclarent regarder beaucoup plus les étiquettes qu'auparavant.

La traçabilité est spontanément associée à l'étiquetage. Celui-ci devrait contenir "*l'origine, la date d'emballage, la mention de race (laitière ou viande), la race, le prix au kilo*". D'autres éléments sont parfois évoqués : "*le type de production (intensive/artisanale, nourriture animale…), le nom de l'éleveur, un numéro de téléphone consommateur*". Le consommateur semble souhaiter un étiquetage plus clair et moins chargé.

Perception de la traçabilité de la viande bovine selon les consommateurs enquêtés

a) Perception spontanée de la traçabilité

Dans l'ensemble le vocabulaire employé spontanément par les répondants pour évoquer la traçabilité est très général voire assez pauvre, quoique diversifié. Personne, parmi les personnes interrogées, n'a pu définir précisément la traçabilité au cours de l'enquête. La traçabilité répond à un "*besoin d'information, savoir ce qu'on achète* " pour 45.7% des répondants. Pour 11.2% la traçabilité "*c'est bien, c'est important, c'est utile*". Pour 10.7% la traçabilité "*c'est sain, c'est une garantie de goût*", c'est un élément de confiance "*mon boucher, les normes*". Enfin 10.2% des répondants déclarent "*faire attention et regarde*[nt] *l'étiquette au moment de l'achat*". En revanche, 28.7% des répondants déclarent spontanément ne pas savoir à quoi sert la traçabilité. Le mot traçabilité ne fait pas encore partie du vocabulaire courant, même s'il paraît largement utilisé. Le terme est "*flou,*

[1] soutenu par la DGAL dans le cadre du Programme Spécifique Massif Central

douteux, [il] *manque de rigueur"* pour 15.1% des répondants. Il est parfois associé aux *mots " fraude, ré-étiquetage "* par 7.8% des personnes interrogées. Près d'un sur 10 (9.9%) déclare que la traçabilité "*ne sert à rien*" ou il (elle) "*n'y fait pas attention*". Seuls 4.2% des répondants déclarent spontanément que la traçabilité permet de "*remonter à l'origine du problème*" ou de "*repérer les lots contaminés*", 2.9% indiquent qu'elle renseigne sur la "*race*". Enfin 4 répondants (1%) associent la traçabilité à un "*prix plus cher*".

b) ***Perception de la traçabilité en mode assisté***

La réponse principale des 383 consommateurs interrogés (48.6%) a été : la traçabilité permet une meilleure transparence sur les conditions d'élevage et d'abattage des animaux. Pour un quart des consommateurs (24.6%) la traçabilité sert à retrouver rapidement un lot défectueux et dangereux à la consommation. Pour 19.1% des consommateurs, la traçabilité permet de restaurer la confiance des consommateurs sans trop d'information sur l'étiquette. 1.5% des répondants ne savent pas, même en mode assisté, à quoi sert la traçabilité.

DISCUSSION

Ce sont les consommateurs qui définissent la traçabilité comme une source d'information sur les conditions d'élevage et d'abattage des animaux ou comme un moyen de retrouver un lot défectueux et dangereux qui recherchent de l'information sur ce qu'ils achètent. Inversement les individus qui définissent la traçabilité comme un élément de confiance des consommateurs avec peu d'information sur l'étiquette déclarent spontanément rechercher peu d'information. Les réponses du type Ne Sait Pas concernant la définition de la traçabilité en mode spontané semblent plus fréquentes chez les répondants qui, en mode assisté, choisissent la définition la plus floue de la traçabilité ou ne choisissent toujours pas (NSP).

Les femmes semblent s'intéresser plus que les hommes aux aliments que mangent les bovins. Est-ce le reflet d'une inquiétude singulière des femmes vis à vis de la viande ou l'influence de leur implication dans les fonctions nourricières ? Peut être la simple combinaison des deux éléments.

La perception de la traçabilité comme moyen d'information sur ce que l'on achète semble différente selon le type de magasin où le répondant a été interrogé. Les clients de boucheries spécialisées semblent plus attentifs à la recherche d'information sur la viande de bœuf. Les clients d'hypermarchés semblent moins attentifs et les clients de boucheries traditionnelles semblent quant à eux plus portés à une relation de confiance avec le boucher.

Le type de point de vente fréquenté paraît être un critère discriminant en ce qui concerne l'attention apportée à la traçabilité comme critère d'achat. Les clients d'hypermarchés (65.4% des répondants) semblent porter très peu d'attention à la traçabilité. En revanche les clients de boucheries spécialisées (32.1%), impliqués dans l'achat de viande, sont attentifs à la traçabilité et sont le mieux capables de définir cette dernière. Enfin les clients de boucheries traditionnelles (2.5%) semblent substituer la confiance envers " le boucher" à la notion abstraite de traçabilité.

Le taux d'acceptation du questionnaire en boucherie spécialisée est également plus important (environ 50% de répondants parmi les clients contactés contre environ 30% en hypermarché. Les clients de boucheries traditionnelle ou spécialisée sont en moyenne plus attentifs à la traçabilité que les acheteurs en grande surface : ils sont 21.7% à répondre que la traçabilité est un élément de choix important au moment de l'achat, contre seulement 4.3% en hypermarché. L'implication envers la viande semble plus forte chez les clients des boucheries traditionnelle ou spécialisée.

CONCLUSION

De prime abord la traçabilité est une notion difficile à définir ou même à décrire par les consommateurs. Le vocabulaire spontané employé, lorsqu'il existe, est très général. Il est intéressant d'observer que les termes évoqués évoluent du technique au général (voire à la non réponse) lorsque l'on descend l'échelle des qualifications et des revenus (maîtrise du vocabulaire ?). Plus le revenu mensuel est élevé, plus le besoin d'information est important. Plus le revenu mensuel est élevé, plus le consommateur se soucie des différents éléments d'information sur les conditions d'élevage et sur l'origine de la viande. Il paraît également plus informé sur la traçabilité et sur son utilité. Mais le plus surprenant semble être que la perception de la traçabilité paraît liée au type de magasin fréquenté pour acheter la viande bovine. Trois comportements apparaissent : le client d'hypermarché peu attentif à la traçabilité ; le client de boucherie spécialisée impliqué dans l'achat de viande et attentif à la traçabilité ; enfin le client de boucherie traditionnelle, plus attentif à "son" boucher qu'à une traçabilité abstraite.

L'étude apporte des éléments nouveaux sur la perception de la traçabilité, notion qui s'est *in fine* imposée à tous, éleveurs, négociants, transformateurs, distributeurs, administrations, et même consommateurs, voire Commission Européenne. Or la perception de la traçabilité par le grand public ne semblait pas avoir été étudiée jusque-là.

ANNEXES

Tableau 1 Perception de la traçabilité (assisté) X Traçabilité, recherche d'information (spontané)

			Recherche d'information		Total
			Oui	Non	
Définition de la traçabilité (assisté)	Lot défectueux et dangereux	Effectif	46	35	81
		%	56.8%	43.2%	100%
	Conditions d'élevage et d'abattage	Effectif	105	55	160
		%	65.6%	34.4%	100%
	Confiance des consommateurs	Effectif	21	42	63
		%	33.3%	66.7%	100%
	Ne sais pas	Effectif	3	22	25
		%	12.0%	88.0%	100%
Total		Effectif	175	154	329
		%	53.2%	46.8%	100%

Khi-deux = 37.371/ 3 ddl/ 0 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 2 Définition de la traçabilité (assisté) X Traçabilité, ne sais pas (spontané)

			Ne sais pas (spontané)		Total
			Oui	Non	
Définition de la traçabilité (assisté)	Lot défectueux et dangereux	Effectif	10	71	81
		%	12.3%	87.7%	100%
	Conditions d'élevage et d'abattage	Effectif	17	143	160
		%	10.6%	89.4%	100%
	Confiance des consommateurs	Effectif	14	49	63
		%	22.2%	77.8%	100%
	Ne sais pas	Effectif	15	10	25
		%	60.0%	40.0%	100%
Total		Effectif	56	273	329
		%	17.0%	83.0%	100%

Khi-deux = 39.790/ 3 ddl/ 1 effectif théorique inférieur à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 3 Sexe du répondant X Traçabilité, alimentation animale (mode spontané)

			Alimentation animale		Total
			Oui	Non	
Sexe du répondant	masculin	Effectif	4	121	125
		%	3.2%	96.8%	100%
	féminin	Effectif	31	227	258
		%	12.0%	88.0%	100%
Total		Effectif	35	348	383
		%	9.1%	90.9%	100%

Khi-deux = 7.881/ 1 ddl/ 0 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 4 Traçabilité, recherche d'information (spontané) X Type de magasin

		Type de magasin			Total
		Hypermarché	Boucherie spécialisée	Boucherie traditionnelle	
Recherche d'information	Oui	99	71	5	175
		56.6%	40.6%	2.9%	100%
	Non	155	50	3	208
		74.5%	24.1%	1.4%	100%
Total		254	121	8	383
		66.4%	31.6%	2.1%	100%

Khi-deux = 16.399/ 5 ddl/ 2 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 5 Type de magasin X Je suis attentif à la traçabilité (spontané)

			Je suis attentif la traçabilité (spontané)		Total
			Oui	Non	
Type de magasin	Hypermarché	Effectif	11	243	254
		%	4.3%	95.7%	100%
	Boucherie spécialisée	Effectif	27	94	121
		%	22.3%	77.7%	100%
	Boucherie traditionnelle	Effectif	1	7	8
		%	12.5%	87.5%	100%
Total		Effectif	39	344	383
		%	10.2%	89.8%	100%

Khi-deux = 32.915/ 5 ddl/ 2 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 6 Revenu mensuel du ménage X La traçabilité permet de distinguer le type d'élevage (réponses spontanées)

			Type d'élevage (intensif ou traditionnel)		Total
			Oui	Non	
Revenu mensuel du ménage	R < 915 €	Effectif	0	43	43
		%		100.0%	100%
	915 € ≤ R < 1829 €	Effectif	8	116	124
		%	6.5%	93.5%	100%
	1829 € ≤ R < 2744 €	Effectif	9	108	117
		%	7.7%	92.3%	100%
	2744 € ≤ R	Effectif	13	61	74
		%	17.6%	82.4%	100%
	NSP	Effectif	1	24	25
		%	4.0%	96.0%	100%
	Total	Effectif	31	352	383
		%	8.1%	91.9%	100%

Khi-deux = 13.753/ 4 ddl/ 2 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 7 Revenu mensuel du ménage X Définition de la traçabilité (spontané) : NSP

			Ne sais pas à quoi sert la traçabilité		Total
			Oui	Non	
Revenu mensuel du ménage	R < 915 €	Effectif	25	18	43
		%	58.1%	41.9%	100%
	915 ≤ R < 1829 €	Effectif	39	85	124
		%	31.5%	68.5%	100%
	1829 € ≤ R < 2744 €	Effectif	29	88	117
		%	24.8%	75.2%	100%
	2744 € ≤ R	Effectif	9	65	74
		%	12.2%	87.8%	100%
	NSP	Effectif	8	17	25
		%	32.0%	68.0%	100%
	Total	Effectif	110	273	383
		%	28.7%	71.3%	100%

Khi-deux = 29.557/ 4 ddl/ 0 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

Tableau 8 Revenu mensuel du ménage X Traçabilité, recherche d'information, (mode spontané)

			Traçabilité = Recherche d'information		Total
			Oui	Non	
Revenu mensuel du ménage	R < 915 €	Effectif	10	33	43
		%	23.3%	76.7%	100%
	915 € ≤ R < 1829 €	Effectif	51	73	124
		%	41.1%	58.9%	100%
	1829 € ≤ R < 2744 €	Effectif	59	58	117
		%	50.4%	49.6%	100%
	2744 € ≤ R	Effectif	46	28	74
		%	62.2%	37.8%	100%
	NSP	Effectif	9	16	25
		%	36.0%	64.0%	100%
	Total	Effectif	175	208	383
		%	45.7%	54.3%	100%

Khi-deux = 19.857/ 4 ddl/ 0 effectifs théoriques inférieurs à 5, seuil significatif à 99%.

LES CONSEQUENCES DE LA CRISE BOVINE EN 2001 SUR LES RESULTATS ECONOMIQUES DES EXPLOITATIONS D'ELEVAGE ALLAITANT CHAROLAIS

P. VEYSSET, M. LHERM, D. BÉBIN
Laboratoire d'Economie de l'Elevage, INRA Clermont-Theix, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

La deuxième crise ESB survenue au troisième trimestre 2000 avait eu peu de conséquences sur les résultats économiques 2000 des élevages allaitants, la majorité des ventes des animaux ayant déjà été effectuée. La baisse immédiate de consommation fin 2000, ne s'est progressivement redressée que fin 2001, d'où des prix moyens à la production d'un faible niveau tout au long de 2001. Les ventes des animaux ont également été ponctuellement perturbées par la fièvre aphteuse au premier trimestre.

L'analyse des résultats 2001 d'un échantillon constant sur 3 ans (1999-2001) de 79 exploitations d'élevage allaitant charolais réparties sur 5 départements du Nord Massif Central, embrassant tous les systèmes de productions rencontrés en charolais, va nous permettre d'évaluer les premières conséquences de cette seconde crise ESB.

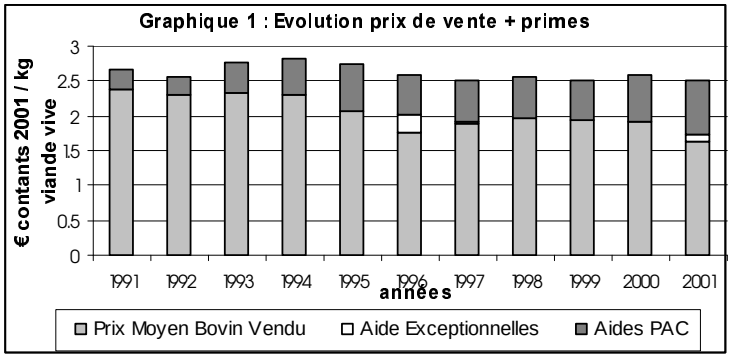
Structure des exploitations

Ces exploitations sont de taille (surface et troupeau) relativement importante : 142 ha pour 153 Unités Gros Bovins (Ugb) avec 2.03 Unités Travailleurs Humains (Uth) dont 0.25 salariés. Le gain de productivité du travail (+ 2.5 %/an de 1988 à 1998), quantifiée par le nombre d'hectares et d'animaux par travailleur, a permis aux éleveurs d'augmenter leur production et, ainsi, de maintenir leur revenu dans un contexte de baisse continue du prix de la viande. Après 2 années de stagnation (1998, 1999), cette productivité de travail reprend sa progression pour atteindre 72 Ha/Uth et 78 Ugb/Uth. Ceci entraîne une forte capitalisation : 168 300 €/Uth avec un taux d'endettement de 30 %. La valeur du cheptel bovin représente 56 % du capital total.

La spécialisation en production bovine est assez poussée, la surface fourragère principale (sfp), constituée de 96 % d'herbe, occupe 82 % de la surface, le chargement reste stable depuis plusieurs années, à 1.32 Ugb/Ha sfp. Dans notre échantillon nous comptons 12 exploitations (principalement dans le département de la Nièvre) ayant une orientation plus céréalière avec 40 % de la surface consacrée aux cultures non fourragères, mais la marge bovine y constitue tout de même 50 % de la marge globale.

Résultats économiques du troupeau et des surfaces (en € constant 2001)

Les prix de vente et les primes



La non reprise des prix de vente des bovins courant 2001 après leur effondrement fin 2000 (-0.32 €/kg vif, soit –20 % entre les semaines 42 et 51), est un des déterminants principaux des résultats 2001.

Ces prix bas sont en partie compensés par l'augmentation des aides bovines prévues dans l'Agenda 2000 : réforme de la Politique Agricole Commune débutée en 2000 pour être pleinement appliquée en 2002 avec notamment une prévision de baisse de prix de la viande bovine de 20 % compensée en partie par une augmentation progressive sur 3 ans des primes bovines et la création de nouvelles primes. La baisse des prix annoncée dans l'Agenda 2000 est donc survenue comme prévue, mais brutalement plutôt qu'échelonnée sur 3 ans, alors que l'augmentation des aides a bien été échelonnée.

Des aides exceptionnelles « crise ESB » ont été mises en place. Globalement le prix moyen du kilo vendu a chuté de 15 % entre 2001 et 2000 (-17 % par rapport à 1999), et le prix de vente compensé par les aides totales n'a baissé que de 2.7 % (graphique 1). Par contre la perte de valeur des animaux en stock influence la valeur du produit de l'année : -26 % par rapport à 1999 et –9 % avec les compensations.

La productivité pondérale

Pour la première fois depuis 10 ans, la production de viande par Ugb, qui s'élève à 300 kg/Ugb, a chuté significativement : -15 kg/Ugb. Ce fait peut être expliqué par les conditions climatiques du printemps, ainsi que par la décision (dans le cadre des mesures de précautions) de destruction des animaux malades et accidentés qui étaient auparavant en partie valorisés (perte de 2 kg/Ugb), et peut-être aussi par le report d'animaux prêts à vendre (broutards d'hiver, vaches grasses) lors de la période d'arrêt des transactions due à la fièvre aphteuse. A âge identique, la plupart des animaux vendus l'ont été à un poids plus faible que l'année précédente (tableau 1).

Tableau 1 : Variation 2001-2000 des dates, âges et poids de vente

	Broutards automne	Broutards hiver	Taurillons gras 18 m.	Broutardes automne	Gén. 18 m. maigres	Gén. 30 m. grasses	Gén. 36 m. grasses	Vaches grasses
Date (j)	-3	+29	-3	+2	-13	+7	+2	/
Age (j)	-3	+30	-3	+12	-24	+12	+9	/
Poids (kg)	-29	+5	-16	-4	-55	=	-3	-2

La marge brute bovine

Globalement le produit bovin baisse de 11 % (-87 €/Ugb) et malgré la baisse des charges du troupeau et de la surface fourragère de 5.6 % (-12 €/Ugb), la marge brute bovine chute de 13.6 % soit –75 €/Ugb.

La marge des cultures de vente

Les mauvaises conditions climatiques du printemps ont affecté le rendement des céréales qui perd 15 % (52 qx/ha en 2001 contre 62 en 2000) alors que le niveau des charges a été maintenu. La marge brute des cultures chute de 80 €/ha, soit –14 %.

Résultats économiques globaux (en € constants 2001)

Les charges de structure

Pour la première fois depuis 1993 les charges de structure baissent : –5 %. Cette baisse est imputable à la baisse des cotisations sociales des exploitants (-10 %) liées aux moindres revenus observés en 1999 et 2000, ainsi qu'aux charges de mécanisation qui perdent 3.6 % après plusieurs années de constante progression du fait de forts investissements en équipement pour faire face à l'augmentation des troupeaux et des surfaces.

Le revenu du travail et des capitaux (RWC)[1]

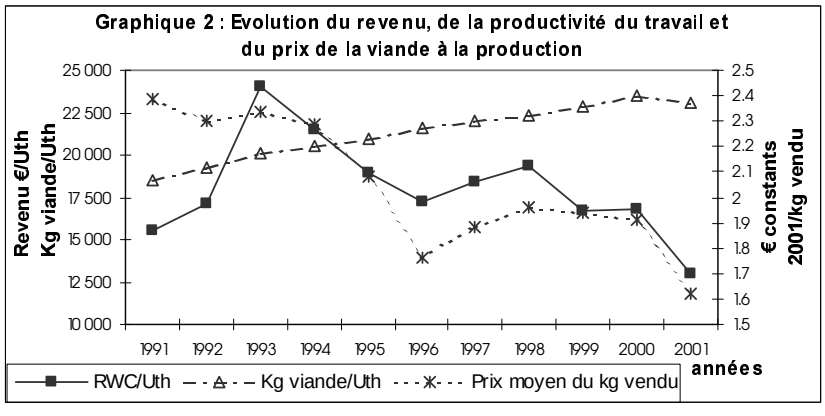
Le revenu moyen du travail et des capitaux s'élève, en 2001, à 12 480 €/Uth, soit –3 914 €/Uth ou –24 % par rapport à 2000. Les aides totales représentent 41 % du produit et 227 % du revenu (139 % en 2000, 127 % en 1999). Mais ces chiffres couvrent une grande disparité, avec un impact différent de la crise selon les structures des exploitations.

Depuis la mise en place de la nouvelle PAC en 1992, les principaux déterminants du revenu se trouvaient être la productivité du travail (plus de surface et plus d'animaux par travailleur amènent plus de primes compensatrices), l'intensification de la production de viande, ainsi qu'un impact positif de l'orientation céréalière. En 2001 les effets positifs de la taille et de l'intensification sur le revenu sont grandement atténués, car les systèmes les plus productifs et/ou les plus intensifs n'ont pas pu compresser leur charges et ont subi une baisse de produit très importante. Du fait de la baisse de la marge des céréales, les exploitations polyculture-élevage ont vu leur revenu fortement chuté et devenir inférieur à celui des exploitations d'élevage (les exploitations polyculture-élevage sont également de grandes exploitations, l'effet taille s'est cumulé avec l'effet céréales). Globalement les exploitations herbagères extensives spécialisées en production de viande finie ont mieux passé l'année 2001 que les grandes exploitations polyculture-élevage productrices d'animaux maigres.

Notons que, malgré la baisse du revenu, la trésorerie disponible a augmenté de 8 % du fait des nouveaux emprunts et de la perte de valeur du cheptel en stock qui a une influence sur le revenu, mais par sur la trésorerie de l'année.

Conclusion

L'intensification qui est un facteur amplificateur du revenu en bonne conjoncture ne peut compenser les prix bas d'une année de crise. La nécessaire compensation des prix par les aides n'a pas été suffisante en 2001 (contrairement à 1996) pour maintenir le revenu qui reste très sensible aux variations de productivité (graphique 2). Dans un contexte de crise de confiance du consommateur, la démarcation des filières de qualité (Label Rouge) semblait être une réponse pour les éleveurs du bassin allaitant, mais paradoxalement, au cours du premier semestre 2002, le prix de la viande issue de femelles allaitantes de classe U continue de chuter alors que la vache laitière O ou le jeune bovins R se maintiennent à des prix proches de ceux de 2000.



[1] RWC = Résultats Courant + (salaires nets + avantages) – (valeur locative des terres en propriété – impôts fonciers)
RWC est un bon indicateur de rentabilité utilisé pour les comparaisons d'exploitations puisque son mode de calcul gomme les différences de situation tenant au mode de faire valoir (fermage ou propriété) ou à l'origine de la main d'œuvre (familiale ou salariée).

Qualités nutritionnelles des viandes

Animateurs : J. MOUROT (INRA-Rennes)
et P. PATUREAU-MIRAND (INRA-Clermont Fd)

Conférences

LES APPORTS EN MICRONUTRIMENTS PAR LA VIANDE

Edmond ROCK
Unité Maladies Métaboliques et Micronutriments
Centre de Clermont-Theix
63 122 Saint Genès Champanelle

INTRODUCTION

Par définition, les micronutriments représentent les composants de l'alimentation apportés en faibles quantités mais qui assurent des fonctions biologiques susceptibles de prévenir sinon d'améliorer la santé et le bien-être des individus. Les grandes classes des micronutriments sont les minéraux et oligo-éléments, les vitamines, les caroténoïdes et les polyphénols, auxquels il faut ajouter des métabolites de ces micronutriments (acide rétinoïque, métabolite actif de la vitamine A) ou ceux issus de macronutriments (acide linoléïque conjugué ou CLA). La notion de micronutriments fait donc référence à un ensemble très hétérogène et très complexe de composés trouvés dans tous les aliments avec des teneurs plus ou moins élevées ; il est à noter que les aliments dits à calorie vide ou les aliments raffinés ont une densité nutritionnelle en micronutriments très faible.

Il faut distinguer les micronutriments « indispensables », comme les vitamines et certains minéraux, dans le sens ou un apport limité en ces nutriments peut induire des symptômes caractéristiques (vitamine C et scorbut) et ceux comme la plupart des caroténoïdes et des polyphénols dont le rôle semble être confiné à une amélioration de la santé à long terme (phytooestrogènes et ostéoporose). Pour les micronutriments reconnus comme indispensables, il a été défini des apports nutritionnels conseillés (voir tableau 1 pour les nutriments apportés par la viande et le foie) qui représentent un besoin nutritionnel moyen permettant de couvrir 97,5 % de la population. Pour les micronutriments non indispensables, il convient de distinguer ceux apportés par les produits animaux (typiquement les CLA) et ceux apportés essentiellement par les produits végétaux, les phytomicronutriments, ces derniers se caractérisant par le fait que l'organisme est incapable de les synthétiser comme les caroténoïdes, les polyphénols ou les phytostérols.

Tableau 1: Composition en micronutriments des viandes et du foie de veau (pour 100 g)*

types	Mg mg	P mg	K mg	Na mg	Se µg	Zn mg	Fe mg	B2 mg	B3 mg	B12 µg	B9 µg	B6 µg
Viandes					6 - 8	5 -6						
bifteak grillé	*25*	*230*	*400*	*60*			*3*	*0,26*	*5*	*2*	*15*	*400*
Bœuf braisé	24	200	270	60			4	0,3	3	2	8	300
entrecôte grillée	21	180	320	50			2,6	0,3	6	2	16	300
faux filet grillé	25	240	400	60			3	0,2	4,5	2	15	400
flanchet (cru)	19	200	320	70			2,5	0,3	4,1	2	9	300
flanchet (cuit)	19	***170***	***250***	52			3,5	0,24	3	2	7	270
rosbif rôti	25	230	400	65			3,5	0,25	5	2	14	400
bourguignon cuit	23	240	320	68			3,7	0,3	4	2	10	300
pot-au-feu cuit	***10***	***170***	***250***	52			3,4	*0,19*	2,6	1,9	7	300
Steak haché 5%	*27*	*241*	*439*	*74*			*2,9*	0,22	*4,4*	*1,9*	*9*	*370*
Steak haché 15%	22	171	331	82			2,2	0,23	3,9	1,9	8	320
ANC**	400	800	400-600***	6 - 8 g	60 µg	12 mg	9 - 16	1,5 - 1,6	14	2,4	330	1 800
% apport	6	25			10	50	33	16	33	83	3	23
Foie de veau	25	320	365	92			6	3	13,7	65	300	710

(*): tiré de Favier J-C et al; (**): rapporté par jour; (***): besoin moyen;

Les recherches entreprises sur l'absorption et les effets biologiques des micronutriments (naturels ou synthétiques) isolés ou inclus dans leur matrice d'origine, ont montré que la biodisponibilité en un micronutriment donné peut différer selon qu'il y a ou non des interactions avec les autres composantes de la matrice alimentaire (acide phytique et absorption des minéraux).

Enfin, l'importance des micronutriments s'inscrit aussi dans l'évolution de la nutrition dans nos sociétés, en particulier de la rareté vers l'abondance des aliments. Cette évolution s'est ainsi traduite par une évolution parallèle des principales maladies de carence liées à l'alimentation à celles chroniques ou dégénératives liées aux excès alimentaires. D'où l'idée princeps des nutritionnistes d'établir des diètes idéales ayant pour objectif de promouvoir une santé et une longévité optimales. Dans ce cadre, les observations épidémiologiques montrent des relations d'association claires entre risques de développement des pathologies dégénératives et certains modes alimentaires. Ainsi, contrairement à la diète dite « Western », les diètes qualifiées de « Méditerranéennes » ou «

Asiatiques » ont un impact positif sur la santé. La place prépondérante des produits végétaux dans ces modes alimentaires protecteurs mais aussi l'exposition significativement diminuée des végétariens aux pathologies dégénératives ont conduit à l'établissement d'un consensus scientifique sur l'hypothèse qu'une consommation accrue d'aliments d'origine végétale associée à un apport modéré de produits animaux devrait permettre d'augmenter le potentiel santé des individus. De plus, les recherches fondamentales et appliquées sur les facteurs susceptibles de diminuer les risques des pathologies majeures dans la population des pays industrialisés (maladies cardiovasculaires et cancers) ont montré la place prépondérante occupée par les micronutriments et en particulier des phytomicronutriments.

C'est dans ce contexte général que sera analysé l'apport en micronutriments par la viande. A l'évidence, la définition du mot « viande » en nutrition est complexe. Elle peut recouvrir plusieurs aspects incluant la viande en l'état de diverses espèces et les nombreux produits carnés, transformés industriellement et/ou traditionnellement. Nous illustrerons ici des apports en micronutriments par la viande rouge. Cet apport dépendra du contenu initial et de la biodisponibilité en micronutrients. Le tableau 1 montre la composition en micronutriments de quelques morceaux de viande. D'ores et déjà, ce tableau indique que les viandes ne sont pas une source majeure pour les caroténoïdes et les polyphénols. Les apports en micronutriments de la viande se limitent essentiellement à quelques minéraux et oligo-éléments, aux vitamines B et à la vitamine A, cette dernière étant apportée presque exclusivement par les abats (foies). Les apports nutritionnels conseillés ou ANC, mais aussi les fonctions et les effets physiologiques de ces micronutriments ont été largement décrits dans un livre récent (Anonyme, 2001) publié par la CNERNA et l'AFSSA.

APPORTS EN OLIGOELEMENTS (FE, ZN, SE) ET MINERAUX (P, K, NA)

- Apport en fer

Comme illustré dans le tableau 1, une portion de 10 g de viande apporte environ 3 mg de fer soit 30% des ANC pour cet élément. Les abats, beaucoup plus riches peuvent contribuer jusqu'à 60% des ANC. Dans le régime occidental, les céréales peuvent aussi contribuer jusqu'à 30% des apports ; cependant, la forme héminique du fer des produits carnés est beaucoup plus assimilable (environ 25%) que la forme non héminique trouvée dans les produits végétaux et laitiers (inférieure à 10%). Une étude australienne sur des femmes végétariennes et omnivores, a montré que la concentration sérique en ferritine était plus faible chez les végétariennes comparées à celle des omnivores en dépit d'un apport en fer similaire pour les 2 groupes (Ball &Bartlett, 1999). En France, les données établies par l'étude « Val-de-Marne » montrent que les viandes et les poissons apportent environ 25% de fer consommé. Outre le rôle joué par le fer dans de nombreuses réactions métaboliques, le fer entre dans la constitution de la myoglobine et de l'hémoglobine. Ceci explique pour une grande part l'apparition d'anémie qualifiée de ferriprive lors de carence alimentaire en fer. L'état de carence peut être défini par le dosage usuel de la ferritine plasmatique et/ou de la saturation de la transferrine mais aussi par les récepteurs circulants de la transferrine, récemment proposés comme indicateurs du statut en fer (Baynes et al, 1994). Dans tous les cas, ces dosages doivent être réalisés chez des individus ne présentant pas de syndrome inflammatoire qui a tendance à augmenter le taux sérique de la ferritine indépendamment de l'état des réserves en fer. La déficience en fer est un problème majeur de santé dans le monde et qui est due en partie à un apport diminué et/ou à une mauvaise absorption du fer alimentaire. En France, l'étude SU.VI.MAX. (Galan et al, 1998) a montré que 4,4% des femmes en âge de procréer présentent une déficience suffisamment intense pour entraîner une anémie ferriprive et l'étude Val-de-Marne (Preziosi et al, 1994) avait montré que la déficience en fer concerne aussi les enfants en bas âge (29% des enfants de moins de 2 ans) et les adolescentes (15%). Une autre étude récente sur les adolescentes suédoises confirme les observations françaises. Les auteurs notent ainsi qu'une diminution d'apport en produits animaux s'accompagne chez les adolescentes d'une diminution d'apport en fer et d'une insuffisance de stock en fer pour assurer l'érythropoïèse et les besoins en fer (Samuelson et al, 2000) Dans les facteurs considérés comme favorisant l'absorption du fer, on retrouve les produits carnés et la vitamine C alors que les phytates ou les tannins voire les polyphénols pourraient inhiber l'absorption intestinale du fer. Il est à noter qu'une déplétion des stocks de fer augmente l'absorption du fer mais ne permet cependant pas de compenser l'effet inhibiteur des produits végétaux (phytates et polyphénols) notamment lorsque la diète est pauvre en fer héminique.

- Apport en zinc

Le zinc corporel est principalement stocké dans les os (30%) et le muscle (60%). Ceci explique le rôle important de la viande et des produits carnés pour les apports de zinc dans l'alimentation humaine. De plus, la biodisponibilité du zinc est plus élevée à partir de produits d'origine animale que végétale, en raison notamment de la richesse des produits végétaux en phytates qui, comme pour le fer, chélatent le zinc et empêchent son absorption. Une étude récente a confirmé cette meilleure absorption chez les enfants sevrés avec de la viande de bœuf hachée qu'avec les céréales (Jalla et al, 2002). Chez les femmes adultes, des résultats obtenus sur le taux plasmatique en zinc suggèrent qu'une réduction de la consommation de viande rouge au profit de céréales pourrait compromettre l'apport et la biodisponibilité du zinc (Gibson et al, 2001). Compte tenu de la meilleure biodisponibilité du zinc des produits carnés, les ANC nouvellement proposées varient selon la richesse de l'alimentation en produits animaux. Ainsi pour les hommes et les femmes adultes, les ANC sont respectivement de 14 et 9 mg/J si l'alimentation est riche en produits végétaux et de 12 et 7 mg/j si la consommation de produits animaux est importante. Les viandes contenant 5 à 6 mg/100g peuvent ainsi contribuer efficacement à 60-80% des ANC du zinc dans l'alimentation humaine. Sur la base de la concentration en zinc plasmatique, l'étude SU.VI.MAX. a montré que plus de 7% de la population française étudiée présentent une valeur inférieure à 10,7 µM, valeur considérée comme limite de carence biologique. Le zinc intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques mais son impact physiologique se situe au niveau de la synthèse protéique (activation des ADN et ARN polymérases, régulation des histones et déclenchement de la lecture du génome), le métabolisme des acides gras, la synthèse des prostaglandines et dans la lutte contre le stress oxydant (superoxyde dismutase, stabilisation des membranes et compétition avec les métaux de transition).

- Apport en sélénium

La moitié du sélénium corporel total est stockée dans les cellules musculaires. Les aliments protéiques comme la viande et les abats mais aussi le lait et les céréales constituent des sources de sélenium pour l'alimentation humaine. Le sélénium alimentaire est principalement constitué de séléno-méthionine et à de séléno-cystéine. Ces formes sont prédominantes tant dans les céréales que les viandes. L'ANC est de 50 à 80 µg pour les sujets adolescents et adultes. La consommation de viandes peut ainsi contribuer à satisfaire 10 à 20% des ANC. La plupart des fonctions biologiques du sélénium passent par l'intermédiaire des sélénoprotéines comme les glutathion peroxydases (défense antioxydante), la thiorédoxine (régénération des vitamines C et E réduites) et les désiodases (fonction thyroïdienne)

- Apport en macro-éléments

Les viandes, comme la plupart des tissus biologiques renferment du phosphore, du sodium et du potassium. Concernant le phosphore, la consommation moyenne dans les pays industrialisés est de 1500 à 1600 mg/jour et toutes les catégories d'aliments contribuent à cet apport. Toutefois, il serait souhaitable de diminuer l'apport en polyphosphates largement utilisé dans la technologie alimentaire afin de limiter une consommation excessive (supérieure à 2500 mg/j) du phosphore notamment lorsqu'elle est associée à des apports calciques insuffisants. Dans ces conditions d'apport déséquilibré, des effets secondaires pourraient être envisagés sur le métabolisme calcique et la minéralisation osseuse conséquente à une diminution du calcium ionisé dans l'organisme. Pour les apports en sodium et potassium, la même constatation s'impose, à savoir que toutes les catégories d'aliments contribuent à l'apport journalier largement excédentaire en ces éléments. Cependant, des données sur la composition en potassium et sodium dans les produits carnés transformés, en l'occurrence le jambon fumé, soulèvent une question fondamentale sur l'effet santé d'un apport élevé en sodium. En effet, si l'on considère que le muscle contient en moyenne 300 mg/100 g de K et 70 mg/100g de Na, le jambon fumé consommé révèle une quantité de K d'environ 450 mg/100g mais une quantité de Na pouvant atteindre 1600 mg/100g (Lalau et al., 1996). Une confirmation d'un apport élevé est apportée par une étude britannique montrant que les viandes fournissent le quart des 8 g de sel consommé par jour, la quantité recommandée actuellement (Drüeke et Lacour, 2001). Ceci a pour conséquence d'augmenter le rapport molaire Na/K à des valeurs supérieures à 1, considérées comme néfastes pour l'appareil circulatoire en raison de l'hypertension artérielle résultant notamment de l'augmentation du Na.

APPORT EN VITAMINES

Vitamines liposolubles (A & E)

Les apports par les produits animaux des vitamines concernent principalement la vitamine A. Toutefois, de nombreuses études ont porté sur la vitamine E pour améliorer les propriétés technologiques de la viande et des produits carnés, notamment vis à vis des processus d'oxydation pouvant altérer la couleur et les propriétés sensorielles des viandes. Comme, montré dans le tableau 1, le contenu en vitamine E de la viande (0,2-0,4 mg/100 g) est loin de satisfaire les ANC de la vitamine fixée à 12 mg/j. La situation est différente si l'on considère la vitamine A. En effet, les produits animaux comme le foie des animaux d'élevage, renferment des quantités importantes de cette vitamine pouvant atteindre des valeurs de 10000 à 20000 équivalent-rétinol (ER) alors que les ANC sont de 600-800 ER/j (Azaïs-Braesco et Grolier, 2001). Sur un plan sécuritaire, il est recommandé d'éviter des consommations de vitamine A supérieures à 3000 ER en raison des propriétés tératogènes de cette vitamine.

Vitamines hydrosolubles (B2, B3, B6 et B12)

- Apport en Riboflavine (B2)

La vitamine B2 entre dans la composition des flavoprotéines sous formes de flavine mononucléotide (FMN) et de flavine adénine nucléotide (FAD) et catalysant les transferts d'électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale et des réactions de déshydrogénation. Dans les pays occidentaux l'alimentation apporte une quantité suffisante de vitamine B2 pour répondre aux besoins, sauf peut être pour certains groupes à risque comme les personnes âgées. L'enquête Bourgogne (Costa de Carvalho et al, 1996) a montré que 70% des apports de riboflavine proviennent des produits animaux dont 35% par la viande, le poisson et les œufs. Les ANC sont de 1,5-1,6 mg/jour et les concentrations trouvées dans la viande rouge sont d'environ 0,3 mg recouvrant ainsi 15% des ANC. Les plus fortes concentrations sont trouvées dans les foies d'animaux (veau [cf tableau 1] et porc).

- Apport en niacine (B3)

La niacine n'est pas une vitamine au sens strict puisque la nicotinamide, substance apparentée et possédant l'activité biologique de la niacine, peut être synthétisée par l'organisme à partir du tryptophane. La nicotinamide fait partie intégrante du NAD et du NADP, coenzymes d'oxydo-réductions, des transporteurs d'électrons. La niacine des produits carnés, sous forme de NAD et NADP est plus assimilable que celle présente dans les céréales sous forme glycosylée. Les ANC sont de 11 et 14 mg/J pour les hommes et femme adultes respectivement. En France la teneur moyenne en tryptophane de la ration protéique (14 mg) permet largement de subvenir aux besoins en niacine par une synthèse endogène. Par conséquent, la vitamine préformée de la viande (3-5 mg/100g) peut être considéré comme excédentaire dans une alimentation occidentale. Une étude espagnole montre ainsi que l'apport en niacine est plus élevée chez des femmes jeunes consommant au moins 100 g de viande par jour par rapport à celles en consommant moins de 100g/j (Ortega et al, 1998) et une étude irlandaise (O'Brien et al, 2001) montre que la consommation de viande et de poisson contribue à un apport se rapprochant la limite de sécurité pour la niacine préformée et ce, chez 20 et 6 % des hommes et des femmes de la cohorte de 1379 individus.

- Apport en vitamine B6

Six composés forment la famille des vitamines B6 : le pyridoxal , la pyridoxine, la pyridoxamine et leurs dérivés phosphorylés respectifs. Les formes majeures dans les tissus animaux sont le pyridoxal 5'-phosphate (PLP) et la pyridoxamine 5'-phosphate (PMP) alors que les tissus végétaux contiennent majoritairement de la pyridoxamine (PN) glycosylée . Les vitamines B6 des produits animaux contribuent à 85% des apports et leur biodisponibilité est supérieure à la vitamine B apportée par les végétaux, en raison notamment de la glycosylation qui diminue l'absorption de moitié. Le PLP assure des fonctions de coenzyme de nombreux enzymes impliqués dans le métabolisme des acides aminés, notamment les aminotransférases et les décarboxylases. Les ANC ont été fixés à 1,5 et 1,8 mg/j pour respectivement les femmes et les hommes adultes et à 2,2 mg/j pour les personnes âgées. Cette augmentation des ANC pour les personnes âgées est entre autre liée à l'hyperhomocystéinémie modérée liée à l'âge et qui est considérée comme un facteur indépendant des maladies cardiovasculaires. Le métabolisme de l'homocystéine dépend de la cystathionine synthétase dont la vitamine B6 est co-facteur. Une insuffisance d'apport en vitamine B6, suggéré par des études de relation apport en B6/hyperhomocystéinémie chez des individus sain, pourrait réduire la synthèse de la cystathionine et permettre l'accumulation de l'homocystéine (voir Figure). Dans ce contexte, il est important de considérer la viande comme une part importante des produits animaux fournissant cette vitamine (plus de 40% des apports). Le contenu en cette vitamine dans la viande étant de 300 à 400 µg/100 g, la viande, à elle seule, peut contribuer à satisfaire 20 à 25%

des ANC de la vitamine B6. En France, l'étude SU.VI.MAX montre que 16 à 19 % des hommes et 26 à 38% des femmes ont des apports inférieurs aux 2/3 des ANC (revue dans Guilland et al, 2001).

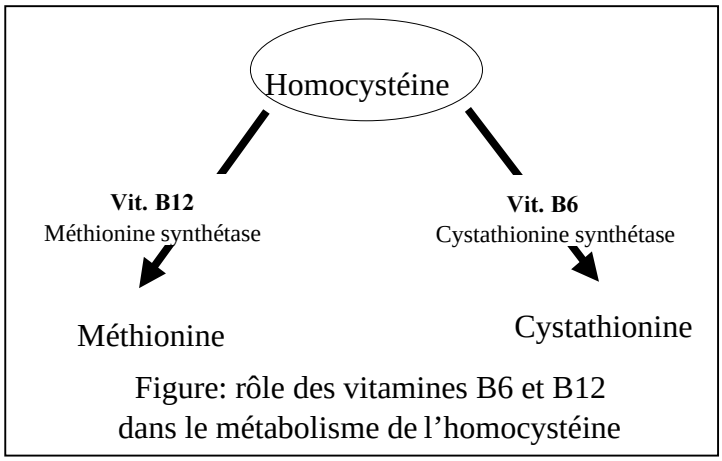


Figure: rôle des vitamines B6 et B12 dans le métabolisme de l'homocystéine

- Apport en cobalamines (vitamine B12)

Le rôle physiologique de la vitamine B12 réside principalement au niveau du vitamère méthylé ou methylcobalamine, qui est un donneur de groupements méthyles apportés par le méthylfolate permettant la synthèse de méthionine à partir de l'homocystéine (voir Figure). L'homocystéinémie et la concentration de l'acide méthylmalonique (MMA) sont considérés comme des effecteurs biologiques du statut en vitamine B12. Ainsi en dépit du rôle central joué par les folates (vitamine B9) sur le métabolisme de l'homocystéine, le schéma présenté montre les interactions avec les vitamines B6 et B12, principalement apportées par les produits animaux sur l'hyperhomocystéinémie. Contrairement à la vitamine B6, la vitamine B12 est **exclusivement** d'origine animale. Les valeurs indiquées dans le tableau 1 montre ainsi que la viande, contenant environ 2 µg/100g, peut satisfaire plus de 80% des ANC fixés à 2,4 µg/j et que la consommation de foie (> 60 µg/100g) apporte des quantités nettement excédentaires. Bien que la carence en vitamine B12 soit rare dans la population générale, les risques de carence marginale chez les végétariens et végétaliens existent. Deux études indépendantes (Hermann et al, 2001 ; Mann et al., 1999) ont ainsi montré qu'un apport diminué en viande dans l'alimentation entraîne une augmentation significative de l'homocystéinémie et du MMA sans qu'il y ait une baisse de la concentration plasmatique de la vitamine B12, qui reste corrélée à l'homocystéinémie. De ces études il a été déterminé que 25% des végétariens présentaient une déficience fonctionnelle en vitamine B12. Les personnes âgées représentent également une population à risque pour la vitamine B12 et la prévalence des déficiences en cette vitamine est liée à la forte incidence de gastrites atrophiques à l'origine d'achlorhydrie ayant pour effet de diminuer l'absorption de la vitamine B12 alimentaire.

CONCLUSION

En somme, les produits carnés constituent une source indéniable en quelques-uns des micronutriments d'intérêts comme le fer et les vitamines B mais aussi pourraient contribuer à satisfaire l'apport en zinc ou en sélénium. Il est à noter que ces éléments jouent un rôle physiologique incontestable et pour certains d'entre eux, un apport insuffisant a été rapporté notamment dans les populations européennes Toutefois, les études épidémiologiques récentes mettent en évidence des relations d'association néfastes quant à l'impact de la consommation de la viande sur la santé. Il semble là qu'il y ait un paradoxe ou du moins une question pour laquelle des réponses hypothétiques peuvent être proposées. Concernant la relation entre viande et cancer colo-rectal, une analyse récente des données épidémiologiques (Hill, 2002) montre que les données européennes ne sont pas consistantes avec celles des Etats-Unis, notamment en raison du contexte nutritionnel différent dans lequel la viande est consommée dans ces 2 continents. L'auteur conclut ainsi que si les fruits et légumes ont un effet protecteur, la consommation de viandes n'aurait aucun rôle sur l'occurrence de ce cancer. Par ailleurs, les études épidémiologiques portent généralement sur une comparaison entre (gros) consommateurs de viande et les végétariens. Peu d'informations sont fournies quant à la nature voire même les quantités précises des viandes consommées. D'autres études montrent une différence importante dans les habitudes de la vie quotidienne entre les groupes précédemment cités. De l'analyse de ces études, il apparaît que les consommateurs de viande associent des aliments tels que le pain et les aliments à calorie vide et ont un style de vie (consommation plus élevée de cigarettes, d'alcool et peu d'exercice physique) qui ne sont pas en faveur d'une préservation de leur santé. Ainsi, une analyse plus fine et peut-être même une expérimentation sur le terrain avec des volontaires consommateurs de viande mais dûment informés et suivis par des nutritionnistes, devraient être réalisées pour

établir les paramètres biologiques de statut en micronutriments d'intérêts et de leur effet santé afin de tirer une conclusion objective quant à l'effet santé de la viande et des produits carnés dans un contexte général (alimentaire et de styles de vie) favorable au maintien de la santé.

Une autre question reste posée sur le rôle des acides gras saturés. En effet, la consommation de viandes en raison de leur richesse en AGS augmente significativement les AGS des phospholipides plasmatiques, augmentation corrélée à celle du cholestérol et des triglycérides plasmatiques, en particulier de l'acide stéarique. Ainsi comme d'autres aliments, comme les produits végétaux riches en phytates, la viande présente des propriétés nutritionnelles positives et négatives. Des tentatives pour moduler le contenu en acides gras dans la viande ont été entreprises mais le conseil nutritionnel de manger varié et équilibré, avec des quantités modérées d'aliments riches en énergie et en lipides (produits animaux) reste avéré en l'état actuel des connaissances dans le domaine de la nutrition humaine. Concernant la viande et les produits carnés, il serait prudent d'éviter une augmentation de la consommation et de recommander aux gros consommateurs de réduire leur apport. Enfin, au lieu d'opposer les aliments d'origine végétale et ceux d'origine animale, il semble possible d'entreprendre, notamment dans le domaine de la communication, une éducation de la population (les consommateurs mais aussi les professionnels impliqués dans le domaine de la nutrition) sur une utilisation optimale de la viande dans les habitudes alimentaires, c'est à dire une association avec des légumes les plus appropriés.

REFERENCES

- Anonym. Apports nutritionnels conseillés pour la population française (3ème Edition). Coordonnateur : Ambroise Martin. Edition Tec&Doc ; 2001.
- Azaïs-Braesco,V., Grolier, P. Vitamine A et caroténoïdes. In : Apports nutritionnels conseillés pour la population française (3ème Edition). Coordonnateur : Ambroise Martin. Edition Tec&Doc ; 2001 ; pp 221-228.
- Ball, M.J., Bartlett, M.A. Dietary intake and iron status of Australian vegetarian women. Am. J. Clin. Nutr., 1999 ; 70 :353-358.
- Baynes, R.D. et al., Circulating transferrin receptors and assessment of iron status. J.Nutr.Biochem., 1994 ; 5 : 322-330.
- Drüeke, T.B., Lacour, B. Sodium. In : Apports nutritionnels conseillés pour la population française (3ème Edition). Coordonnateur : Ambroise Martin. Edition Tec&Doc ; 2001 ; pp 120-130.
- Favier J-C et al,. Répertoire général des aliments. Table de composition. Ed : INRA, CNERNA, TEC & DOC ; 2ème édition. 1995.
- Galan et al, Determining factors in the iron status of adult women in the SU.VI.MAX study. Eur.J.Clin.Nutr., 1998 ; 52 :383-388.
- Gibson R.S. etal, Are changes in food consumption patterns associated with lower biochemical zinc status among women from Dunedi, New Zeland ? Br. J. Nutr., 2001 ; 86 :71-80.
- Guilland et al,. Vitamine B6. In : Apports nutritionnels conseillés pour la population française (3ème Edition). Coordonnateur : Ambroise Martin. Edition Tec&Doc ; 2001 ; pp 196-203.
- Hermann W. et al,. Total homocysteine, vitamin B12, and total antioxidant status in vegetarians. Clin.Chem., 2001 ; 47 : 1094-1101.
- Jalla et al ., Zinc absorption and exchangeable zinc pool sizes in breast-fed infants fed meat or cereal as first complementary food. J.Pediatr.Gastroenterol.Nutr., 2002 ;34 : 35-41.
- Lalau, J.D. et al. Sources alimentaires, rôles physiologiques et besoins en minéraux. I. Sodium, potassium, calcium, magnésium. Cah.Nutr.Dièt., 1996 ; 31 :313-320.
- Mann, N.J. et al,. The effect of diet on plasma homocysteine concentration in healthy male subjects. Eur.J.Clin.Nutr., 1999 ;53 : 895-899.
- O'Brien, M.M. et al. The North/South Ireland Food Consumption Durvey : vitamin intakes in 18-64-year-old adults. Public health Nutr., 2001 ;4 :1069-1079.
- Ortega, R.M. et al. The influence of meat consumption on dietary data, iron status and serum lipid parameters in young women. Int.J.Vitamin.Nutr.Res., 1998 ; 68 :255-262.
- Preziosi et al., Iron status of a healthy French population : factors determining biochemical markers. Ann.Nutr.Metab., 1994 ; 38 :192-202.
- Samuelson, G. et al, A follow-up study of serum ferritin and transferrin receptor concentrations in Swedish adolescents at age 17. Acta Paediatr., 2000 ; 89 :1162-1168.

LE POINT SUR LES APPORTS NUTRITIONNELS CONSEILLES EN ACIDES GRAS, IMPLICATION SUR LES LIPIDES DE LA VIANDE.

P. LEGRAND (1) , J. MOUROT (2)
(1) Laboratoire de biochimie, ENSAR – INRA, 64 Rue de St-Brieuc, 35000 Rennes
(2) Unité mixte de Recherches sur le veau et le porc, INRA 35590 St-Gilles.

Dans l'alimentation humaine, la viande a toujours constitué une composante importante tant sur le plan nutritionnel que symbolique. Il y a déjà 10000 ans, les aliments d'origine animale constituaient près de 80 % de l'apport énergétique de la nourriture de l'homme (Eaton et Konner, 1985).
Pendant une très longue période, la consommation de viande est restée, limitée et le privilège d'un élite sociale. L'évolution des techniques d'élevage et de production au milieu du XX^{ème} siècle ont permis d'accroître la disponibilité de cette matière première, de fait, la consommation de viande est maintenant voisine de 95 kg par an et habitant en France (Culioli et col 2002).
Dans l'alimentation moderne, la viande est l'objet de discussions et de critiques dans une société de plus en plus attentive à la composante diététique et à la valeur "santé" de son alimentation. Ces critiques portent, notamment, sur la teneur en graisse de la viande et sur la composition de sa fraction lipidique (acides gras saturés et cholestérol). Cependant sous la dénomination "viande" existe en fait une très grande diversité de produits. Ceux-ci présentent une composition très variable dépendant de nombreux facteurs tels que l'espèce animale, le morceau et le muscle considérés, mais aussi de facteurs biologiques (âge, sexe, race), des conditions d'élevage (vitesse et intensité de croissance, type d'alimentation) ainsi que des procédés de transformation, cuisson notamment, conduisant au produit effectivement consommé.
Au cours de cette présentation, nous ferons un point sur les quantités et nature des lipides apportés par la viande et sur l'influence des facteurs d'élevage sur les qualités nutritionnelles de la viande. Nous commencerons par un rappel sur les apports nutritionnels conseillés en lipides dans l'alimentation humaine et les conséquences des lipides ingérés sur la santé humaine.

Les lipides dans l'alimentation humaine.

Les acides gras ont des rôles nutritionnels comme source d'énergie (triglycérides), mais aussi comme constituants obligatoires de certaines structures (les phospholipides des membranes) et comme précurseurs de molécules régulant les fonctions cellulaires (prostaglandines, leucotriènes).
Pour proposer des apports nutritionnels conseillés en acides gras, il faut considérer non seulement ces fonctions de nutrition mais également tenir compte des aspects de prévention des grandes pathologies telles que les maladies cardio-vasculaires et les cancers.

1) Les acides gras essentiels.

Généralités: Les premières connaissances sur l'existence des acides gras essentiels et sur les rôles multiples qu'ils remplissent chez l'Homme et l'animal proviennent de l'observation de maladies de carences provoquées par un régime inapproprié. C'est ainsi que Burr et Burr (1929) ont découvert l'essentialité de l'acide linoléique (18:2 n-6 ou ω6) en soumettant des jeunes rats à un régime dépourvu de lipides. Puis, chez l'Homme, l'essentialité de cet acide gras a été démontrée dans les années 1950-1960 (Adam et col., 1958 ; Hansen et col., 1958), sur des nourrissons recevant du lait de vache demi-écrémé comportant seulement 0,1 % de l'énergie sous forme d'acide linoléique Le régime pauvre en acide linoléique entraîne une diminution du gain de poids journalier, une modification de la structure de l'épiderme. Ces symptômes sont corrigés par un apport d'acide linoléique ou d'acide arachidonique (20:4 n-6).
Par ailleurs, dans les années 1970, des recherches ont montré qu'une carence prolongée du régime en acide α-linolénique (18:3 n-3 ou ω3), portant sur plusieurs générations, occasionne des troubles de la vision et du fonctionnement cérébral chez le rat. En fait, l'acide α-linolénique du régime s'incorpore en très faible quantité dans les lipides des tissus, mais il est rapidement converti en dérivés n-3 tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA, 20:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6 n-3).
Il existe donc deux familles d'acides gras polyinsaturés (AGPI) essentiels, respectivement nommées n-6 et n-3, sans transformation métabolique de l'une à l'autre, et sans substitution fonctionnelle possible de l'une à l'autre (figure 1).
Pour compléter le concept d'essentialité, il convient d'utiliser le terme "d'acides gras indispensables" pour les deux précurseurs: acide linoléique (18:2 n-6) et acide α-linolénique (18:3 n-3), car ils sont indispensables pour la croissance normale et les fonctions physiologiques de tous les tissus, mais non synthétisables par l'Homme ou l'animal. En effet, l'acide linoléique et l'acide α-linolénique ont leur première double liaison située respectivement à 6 carbones (n-6) et 3 carbones (n-3) de l'extrémité méthyle, double liaison impossible à insérer par les animaux et l'Homme. Cependant, ceux-ci peuvent ensuite ajouter aux deux acides gras indispensables des

doubles liaisons vers l'extrémité carboxyle, et allonger la chaîne carbonée à cette extrémité. Les autres acides gras polyinsaturés essentiels sont ainsi obtenus, à partir des acides gras précurseurs indispensables (figure 1), cela durant la plus grande partie de la vie de l'Homme, mais avec une plus ou moins bonne efficacité suivant l'état endocrino-métabolique, l'âge et le régime suivi. On trouve les deux acides gras indispensables dans les huiles végétales et principalement dans les huiles de tournesol et de maïs pour l'acide linoléique et dans les huiles de colza et de soja pour l'acide α-linolénique.

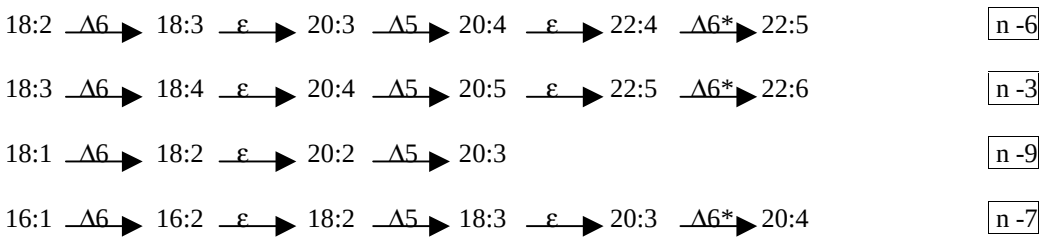


Figure 1: Conversion des acides gras insaturés chez l'homme (d'après ANC 2001)
Le symbole Δ indique une désaturation, avec la place de la double liaison introduite repérée à partir du groupe carboxyle COOH. Le symbole ε indique une élongation. La flèche en pointillé indique une conversion en plusieurs étapes comprenant une Δ6 désaturase notée Δ6 probablement différente de l'autre Δ6 désaturase. Les familles n-9 et n-7 ne sont pas essentielles car leur précurseur est synthétisable par l'Homme (et l'animal).*

Enfin, il est utile de préciser "acides gras polyinsaturés à longue chaîne" (AGPI-LC), pour les acides gras essentiels qui ont une chaîne carbonée strictement supérieure à 18 carbones. Dans notre alimentation courante, les acides gras polyinsaturés à longue chaîne n-6 et en particulier l'acide arachidonique (20:4 n-6) sont apportés par la consommation de produits animaux d'origine terrestre (viande, œufs et lait maternel). Les poissons et animaux marins ainsi que le lait maternel apportent, eux, des quantités plus ou moins grandes d'AGP1-LC de la famille n-3 : EPA (20:5 n-3) et DHA (22:6 n-3).

Rôles physiologiques: *s*i les rôles physiologiques des acides gras polyinsaturés essentiels sont relativement bien connus, leurs mécanismes d'action n'ont pu être totalement élucidés dans la plupart des cas, mais reposent sur deux fonctions principales: ils sont, sous forme estérifiée dans les phospholipides des tissus, des constituants universels des membranes biologiques et ils sont aussi les précurseurs de médiateurs oxygénés hautement spécifiques pouvant produire des effets tantôt complémentaires et tantôt opposés.
Parmi les rôles physiologiques de l'acide linoléique et des acides gras polyinsaturés n-6 (synthèse ANC 2001), il est fait état de la fonction reproductrice, de la fonction épidermique, de la fonction plaquettaire, de la régulation de la lipémie. Enfin, les acides gras n-6 sont impliqués dans l'activité du système immunitaire et la réponse inflammatoire.
Les principaux rôles physiologiques de l'acide α-linolénique et des acides gras essentiels n-3 sont moins connus que ceux des n-6. Une carence en acide α-linolénique provoque des anomalies de la vision et des troubles neurologiques chez l'Homme (Holman et col., 1982). Les acides gras n-3 ont des fonctions spécifiques dans le développement du cerveau et du système nerveux (Bourre et al., 1989). De plus, ils entrent en compétition avec les n-6 au niveau des désaturases et des acyltransférases (incorporant les acides gras dans les phospholipides). Par voie de conséquence, ils abaissent la teneur en acide arachidonique des lipides corporels et modèrent donc la production des prostaglandines correspondantes. Par cet effet de compétition avec les n-6 et/ou par l'effet direct des prostaglandines issues de l'EPA les acides gras n-3 sont donc impliqués dans la physiologie vasculaire et les phénomènes d'agrégation plaquettaire. Enfin, EPA et DHA ont un effet hypotriglycéridémiant reconnu (Jacotot, 1988).
Ces deux acides gras indispensables sont aussi très impliqués dans les maladies cardiovasculaires (cf synthèse ANC 2001). Le rôle de l'acide linoléique a été particulièrement mis en évidence comme abaissant le cholestérol sérique, l'un des principaux facteurs de risque de l'accident coronarien (Gründy et col, 1970). Cependant, il est apparu au cours du temps que les acides gras n-3 sont très importants à considérer pour ce qui concerne les maladies cardiovasculaires.
L'acide α-linolénique paraît être le seul acide gras inhibant l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine (Renaud et al., 1986 a,b), substance probablement directement impliquée dans la thrombose coronarienne. EPA et DHA agissent uniquement sur l'agrégation au collagène (Van Houwelingen et al., 1988), probablement surtout impliquée dans l'hémostase comme le montre la tendance hémorragique des Esquimaux, gros consommateurs de ces acides gras (poissons). L'acide α-linolénique est également associé à une réduction du risque coronarien, indépendamment des autres facteurs de risque, diététiques ou non (Ascherio et col, 1996)

Ainsi l'apport d'acide linoléique seul, même s'il induit une baisse de la cholestérolémie, ne semble pas protéger du décès d'origine cardiaque, mais semble plutôt, associé à une augmentation de l'incidence d'autres causes de mortalité comme le cancer. L'ensemble de travaux bibliographiques nombreux sur le sujet (cf synthèse ANC 2001) suggère qu'il faut inclure des acides gras polyinsaturés dans l'alimentation, mais d'une façon équilibrée en ce qui concerne le rapport des acides linoléique/α-linolénique (Crawford, 1985). Dans l'étude de Lyon (De Lorgeril et col. 1994), une valeur de 5 a été utilisée pour ce rapport, induisant un niveau d'acide α-linolénique dans le plasma comparable à celui des Crétois, mais aussi à celui des Japonais (Kagawa et col. 1982) qui ont la meilleure espérance de vie au monde.
Les études d'observation chez les Japonais (les plus grands consommateurs d'huile de colza) et les Crétois (la meilleure espérance de vie du monde de l'Ouest), l'étude d'intervention de Lyon (De Lorgeril et al., 1994) et les études menées chez l'animal (Siebert et col. 1993 ; Mc Lennan et Dallimore, 1995) suggèrent que l'apport équilibré d'acides linoléique et α-linolénique complété par un apport important d'acide oléique (équilibre illustré par exemple par l'usage d'huile de colza), pourrait être idéal pour réduire le risque d'infarctus, le décès d'origine cardiaque et même la mort subite. Enfin, l'apport total de ces AGPI ne devrait pas excéder 5 % de l'apport énergétique total comme dans l'étude d'intervention de Lyon (De Lorgeril et col., 1994) et comme l'indique également l'enquête diététique chez les Crétois (Keys , 1970).

2) Les autres acides gras

Les acides gras monoinsaturés: les AGMI sont synthétisables par l'organisme humain. Ils représentent chez l'Homme une part généralement importante des acides gras du régime. Utilisés comme source d'énergie, ils sont également estérifiés dans tous les types de lipides, en particulier dans les triglycérides de dépôt (tissu adipeux) qu'ils maintiennent, grâce à leur insaturation, à l'état fluide à la température du corps. Quantitativement, l'acide oléique (18:1 n-9) représente l'élément majeur des acides gras mono-insaturés.
Il est difficile d'étudier les effets d'une carence totale en acide oléique, car tous les corps gras utilisés en nutrition animale et humaine le contiennent en quantités variables. Cependant une carence totale prive de nombreux organes d'une composition normale en acide oléique. Comme pour les acides gras polyinsaturés, il est vraisemblable que par son intégration dans les phospholipides membranaires, l'acide oléique module l'activité d'enzymes, de transporteurs et de récepteurs, agit sur la transduction des signaux (Chen et Murakami, 1994) et peut l'expression de certains gènes (Antras-Ferry et col. 1994).
Concernant les maladies cardiovasculaires, il faut noter qu'un autre acide gras mono-insaturé, l'acide palmitoléique 16:1 n-7 dont le taux plasmatique est normalement très bas, est considéré comme un marqueur du risque athérogène (Cambien et col. 1988). Quant à l'acide oléique, il fait l'objet d'un débat important au niveau du contrôle de la concentration de lipoprotéines plasmatiques. Bien que l'acide oléique endogène stimule la synthèse hépatique et la sécrétion des lipoprotéines *in vitro* (Legrand et col. 1997), le remplacement d'acides gras saturés du régime par de l'acide oléique réduit la cholestérolémie (Gordon et Kraemer, 1995).
En conclusion, il apparaît que la neutralité de l'acide oléique (représentant majeur des acides gras mono-insaturés) est un avantage et justifie sa consommation.
Les acides gras saturés: les AGS sont synthétisés par l'organisme humain, en particulier dans le foie, le cerveau et le tissu adipeux. Avec ceux de l'alimentation, ils sont constituants des phospholipides (riches en acide stéarique C18:0), des sphingolipides, et des triglycérides de réserve. Ils assurent une part importante de la dépense énergétique. Ils sont en partie convertis par désaturation en acides gras mono-insaturés.
De nombreuses recherches épidémiologiques dont l'étude des 7 pays (Keys et col. 1984) ont montré que l'excès de graisses saturées était un des facteurs étroitement associés à la mortalité coronarienne. Toutefois, il est indispensable de distinguer les différents acides gras saturés. Il est montré par exemple (Gründy, 1994) que l'acide stéarique n'est pas hypercholestérolémiant, mais que les acides laurique et myristique le sont (Kromhout et col. 1995), ce dernier étant considéré comme le plus hypercholesterolémiant des acides gras saturés (Kris-Etherton et Dietschy, 1997). Il apparaît que les acides stéarique, palmitique (C16:0) et myristique (C14:0) ont des métabolismes différents et qu'on ne puisse plus les considérer en bloc (Hugues et col. 1996). Par exemple, il a été montré récemment *in vitro* que l'acide myristique est plus rapidement métabolisé (β-oxydé) que l'acide palmitique (Rioux et col. 2000).
Les rôles précis des acides gras saturés à courtes chaînes (de 4 à 10 atomes de carbone) ont été peu étudiés dans le cadre de l'hypercholestérolémie mais ces acides gras seraient neutres sur la cholestérolémie (Nicolisi , 1997). Leur absorption est meilleure que celle des autres acides gras, car plus rapide et plus directe (voie portale).
Enfin, l'acide butyrique (C4:0) qui provient de la dégradation des fibres alimentaires par les bactéries, est un inhibiteur de la prolifération cellulaire tumorale, *in vivo et in vitro*. Il induit l'apoptose (c'est-à-dire la mort programmée) des cellules malignes, par exemple au niveau du côlon (Bartram et col. 1995). L'acide butyrique agit également comme un facteur anti-prolifératif au niveau des cellules musculaires lisses vasculaires (Ranganna et al., 1995).

En conclusion, l'évolution des connaissances conduit à considérer les différents acides gras saturés distinctement, sans les diaboliser, et à limiter leur apport à environ 8% de l'apport énergétique soit un quart des acides gras totaux.

Acides gras trans et acides gras conjugués: Les acides gras trans sont très peu abondants dans les matières grasses naturelles et ils n'ont pas de rôle physiologique connu. Certaines transformations industrielles les ont fait apparaître dans les aliments. Plusieurs études ont montré que les acides gras trans augmentent la teneur plasmatique en LDL-cholestérol et en lipoprotéine, et par conséquent augmentent les risques cardio-vasculaires (Feldman et col. 1996). Bien que la teneur en acides gras trans des margarines ait diminué ces dernières années en France, il est souhaitable que soit proposée dans le futur une dose maximale à ne pas dépasser.

Les acides gras conjugués (leurs doubles liaisons sont conjuguées) sont formés principalement dans le rumen et sont donc présents dans les produits laitiers et certaines viandes. Les principaux acides gras conjugués sont les CLA (conjugated linoleic acid), constitués d'un mélange de molécules dérivées de l'acide linoléique et réputées anti-carcinogènes sur diverses espèces et modèles (Ip et col. 1994). L'isomère cis-9 trans-11 (acide ruménique) est réputé être le plus important, car il est le seul qui soit incorporé dans les phospholipides (Belury et Kempa-Steczko, 1997). L'activité biologique de ces composés est en cours d'étude dans le domaine de la cancérogenèse mais également vis-à-vis de l'obésité, du diabète et des maladies cardio-vasculaires.

Les recommandations des ANC

Sans être révolutionnaires, ces nouveaux ANC proposent plusieurs grandes orientations dictées par l'état des connaissances scientifiques. Tout d'abord a été proposé l'intervalle de 30-35 % d'énergie d'origine lipidique. Le manque de données convaincantes sur le sujet invite à tenir cette position mesurée par rapport à la tendance d'autres comités étrangers qui veulent réduire plus encore cette part des lipides. En effet, en deçà de 30%, l'apport équilibré en acides gras essentiels est difficile à réaliser, compte tenu de la composition des aliments usuels.

Pour ce qui concerne les apports en acides gras chez l'adulte, il convient pour commenter et « adoucir » la sécheresse d'un tableau de chiffres, d'expliquer la démarche employée, avec ses deux aspects les plus importants:

1) Les ANC n'ont pas la même force pour tous les acides gras (tableau 1) . Les acides gras poly-insaturés font l'objet de beaucoup d'études et leur apport est celui de nutriments bien connus comme indispensables à la fonction de nutrition de l'organisme. Les acides gras saturés sont eux historiquement liés à des risques cardiovasculaires en cas de consommation excessive et sont donc abordés dans une logique de limite à considérer, mais sans caractère trop strict, car ils ont également des fonctions importantes comme l'acylation de certaines protéines. Pour les acides gras mono-insaturés enfin, c'est à dire dans la pratique l'acide oléique, c'est ici la considération que sa neutralité est sont principal avantage, qui justifie de compléter l'apport lipidique avec lui, une fois les polyinsaturés satisfaits et les saturés limités.

2) La deuxième considération est que la fonction de prévention des maladies a pris sans cesse de l'importance et ne peut plus être vraiment séparée de la fonction de nutrition, puisque les déficiences en acides gras n'existent apparemment pas dans nos pays.

Tableau 1. Présentation synthétique des apports conseillés en acides gras chez l'adulte (d'après ANC 2001)

	Acides gras	AGS	AGMI	18:2 n-6	18:3 n-3	AGPI-LC	dont DHA	Total
Homme adulte	g/jour	19,5	49	10	2	0,5	0,12	81
2200 kcal/j	% CE	8	20	4,0	0,8	0,20	0,05	33
Femme adulte	g/jour	16	40	8	1,6	0,40	0,10	66,0
1800 kcal/j	% CE	8	20	4,0	0,8	0,20	0,05	33
Femme enceinte	g/jour	18	45,5	10	2,0	1	0,25	76,5
2050 kcal/j	% CE	8	20	4,4	0,9	0,4	0,1	33,7
Femme allaitante	g/jour	20	50	11	2,2	1	0,25	84,2
2250 kcal/j	% CE	8	20	4,4	0,9	0,4	0,1	33,7
Sujet âgé								
1700 kcal/j	g/jour	15	38	7,5	1,5	0,40	0,10	62,5
	% CE	8	20	4,0	0,8	0,2	0,05	33

AGS : Saturés; **AGMI** : Monoinsaturés (acide oléique); **AGPI-LC** : Polyinsaturés à longue chaîne (> 18 carbones); DHA : Acide docosahexaénoique (22:6 n-3)

Ces valeurs sont obtenues par évaluation purement scientifique des données disponibles et établies sur la base :

- d'un contenu énergétique (CE) de la ration journalière de 2200 kcal pour l'homme, 1800 kcal pour la femme, 2050 kcal pour la femme enceinte, de 2250 kcal pour la femme allaitante et de 1700 kcal pour le sujet âgé.
- d'un apport calorique d'origine lipidique de 33% du CE.

Ainsi introduites, les grandes orientations sont les suivantes :
L'apport en acide linoléique est précisé à 4% du contenu énergétique et l'apport en acide α-linolénique est précisé à 0,8% du contenu énergétique. Ce resserrement des chiffres par rapport à l'édition précédente s'explique au vu de la bibliographie récente, par le risque de surcharge en acide linoléique et la nécessité de maintenir un apport suffisant en acide α-linolénique. Le rapport linoléique /α-linolénique devrait tendre vers la valeur de 5, ce qui est loin d'être le cas dans la population française. Cette évolution correspond à une mise au point bibliographique nécessaire, suite au trop fort effet de balancier qui avait, dans le passé, condamné vigoureusement les acides gras saturés et donné aux n-6 des vertus exagérées, en sous-estimant la nécessité des n-3. L'édition précédente indiquait d'ailleurs déjà : « un régime riche en acide linoléique n'a pas eu sur la mortalité coronarienne les effets protecteurs escomptés ». la position des nouveaux ANC est en fait très mesurée, si on la compare à celles de certains comités étrangers qui envisagent des valeurs du rapport linoléique /α-linolénique de 2 ou 3.
Concernant les acides gras à très longues chaînes, une valeur est proposée sans distinction des deux familles n-6 et n-3 (faute de données suffisantes), avec néanmoins une précision concernant le DHA (acide docosahexaénoique, 22 :6 n-3) dont l'importance est démontrée dans la bibliographie récente.
Présenter dans les ANC la réalité complexe des rôles des différents acides gras, en soulignant leurs interactions (compétitions pour les désaturases, pour la cyclooxygénase, pour la lipoxygénase …), ne doit pas conduire à des fausses interprétations dues à une lecture incomplète ou à une mauvaise compréhension. Cette réalité complexe doit plutôt inciter l'utilisateur des ANC à mieux s'informer. Les ANC constituent donc aussi un vecteur d'éducation nutritionnelle.
Parmi les autre points nouvellement exprimés, le cas des personnes âgées a été abordé pour constater finalement que leurs besoins ne sont guère spécifiques en tenant néanmoins compte d'un apport énergétique total plus faible. Concernant le nouveau-né, les connaissances sont maintenant mieux établies et permettent de recommander la supplémentation des laits infantiles en acides gras poly-insaturés à très longue chaîne, pour se rapprocher de la composition du lait de femme. Il faut souligner de plus, que dans le cas du nouveau-né, à la différence de l'adulte, le rapport linoléique/α linolénique doit cette fois être compris entre 5 et 10.
Enfin, il est inutile de réduire le cholestérol alimentaire dans la population générale non hypercholestérolémique.

Les ANC sont-ils facilement réalisables compte tenu de la composition des aliments disponibles ? Disons que pour aider le consommateur qui le souhaite à tendre vers les ANC, certains produits et certaines compositions lipidiques doivent évoluer, certains usages doivent se modifier, des produits nouveaux peuvent émerger, mais des pratiques publicitaires doivent aussi évoluer. Les industriels, très généralement compétents et à la pointe de la bibliographie, feront sûrement bon usage des nouveaux ANC. Il est indispensable aussi que les éducateurs, les praticiens (médecins, diététiciens) et surtout les journalistes fasses l'indispensable démarche d'un minimum de formation pour participer à l'éducation nutritionnelle du consommateur qui, elle, constitue une véritable carence.

Les lipides apportés par la viande

Les études sur la qualité de la viande prennent maintenant en compte la composante nutritionnelle alors que par le passé, les qualités technologiques et organoleptiques étaient principalement étudiées. Cette évolution vient essentiellement de la pression du consommateur qui s'intéresse davantage que par le passé à la composition et à l'origine de son alimentation tant d'un point de vue diététique que d'un point de vue terroir ou image du produit. Mais la notion de qualité des lipides est reliée dans un premier temps à la quantité de lipides apportée par les produits carnés.
En France, la consommation annuelle de viande par habitant (exprimée en équivalent-carcasse) a augmenté de manière continue pendant de nombreuses années (78 kg en 1970 ; 94 kg en 1988) et semble à présent avoir atteint une valeur plateau vers 93 kg. En 2000, la viande la plus consommée a été la viande de porc (37.2 kg) suivie par celle de bœuf et de veau (25.9kg), de volaille (25.0 kg), de mouton (5.2 kg) et enfin de cheval (0.6 kg). La quantité de viande effectivement consommée est, cependant, sensiblement inférieure à celle exprimée en équivalent-carcasse (Culioli et col 2002). Son évaluation nécessite de prendre en compte les rendements en muscle obtenus après désossage des carcasses. En considérant un rendement moyen de 60 %, la consommation individuelle n'est plus, alors, que de 55 kg/an.habitant, soit 150 g par jour, ce qui correspond à un apport journalier de 30g de protéines environ. Le résultat de ce mode de calcul par bilan est à rapprocher de celui obtenu par enquête sur les consommations individuelles. En 1999, 135g de viande et produits carnés ont été consommés journalièrement par les adultes en France (Volatier *et al.*, 2000). Cette quantité est légèrement inférieure à celle déterminée précédemment. La quantité de lipides ingérés avec la viande est difficile à évaluer

en raison de la grande variabilité de la teneur en gras non seulement des morceaux de boucherie, mais aussi de la viande effectivement consommée. Cette teneur est fonction de nombreux facteurs biologiques (origine anatomique du morceau, espèce, race, sexe, âge, alimentation), technologiques, car une grande partie des tissus gras est éliminée en atelier de découpe, ou encore culinaires et comportementaux car le gras est souvent éliminé avant ou pendant le repas. En prenant une teneur moyenne en lipides de la viande ingérée de 10 %, valeur élevée par rapport à la teneur en lipides intramusculaires qui varie entre 1 et 5% mais relativement faible par rapport à la quantité de gras de certains morceaux de boucherie (20%), l'apport lipidique peut être estimé à environ 15 g par jour (Culioli et col 2002). Ceci correspond à un rapport protéines/lipides de 2, mais ce rapport peut varier de 1 à 10 selon le type de morceau considéré. Ainsi, les lipides des viandes et des produits carnés constituent de l'ordre de 17% des apports lipidiques, 14 % des acides gras saturés, 13 % des poly-insaturés et environ 19 % des acides gras mono-insaturés (Malvy *et al.*, 1999).
Si de nos jours, la viande est encore majoritairement consommée en l'état, 35% de la consommation s'effectuent sous forme de produits transformés (charcuteries, plats préparés appertisés, surgelés et frais). Ceux-ci sont constitués majoritairement (85%) de viande de porc dont 70% de la production est transformée. Cependant, les produits dérivés des viandes de volailles (poulet et dinde) ont aussi fortement progressé au cours des dernières années. Le taux de transformation des volailles atteint ainsi 13% de la production, alors que les viandes bovines et ovines sont toujours largement (95%) consommées sous forme de viande en l'état. La consommation journalière moyenne de produits de charcuterie s'élève à 40g par personne (49g pour les hommes et 33g pour les femmes) dont plus de la moitié sous forme de jambon cuit et sec (Volatier *et al.*, 2000). Elles apportent entre 8 et 9% des acides gras saturés et polyinsaturés et 11à 13% des acides gras monoinsaturés (Malvy *et al.*, 1999).

Effets des facteurs d'élevage sur la qualité des lipides de la viande

Chez les animaux monogastriques la nature des lipides apportés par l'alimentation influence fortement la composition des acides gras déposés dans les tissus. Cet effet est surtout marqué dans les tissus adipeux et à un degré moindre dans les muscles (synthèse de Mourot et Hermier 2001). Il est donc possible de modifier la composition lipidique des tissus musculaires ou adipeux de ces animaux en fonction des souhaits des spécialistes de la nutrition humaine. Cette approche est aussi développée chez les bovins (synthèse de Geay et col 2001).
L'introduction dans l'alimentation des animaux de matières grasses riches en acides gras n-3 est une pratique qui se développe actuellement en particulier avec l'utilisation des graines de lin extrudées. La quantité d'AG n-3 déposée dans les tissus est alors augmentée (tableau 2). La teneur en acides gras n-3 à longue chaîne (acide eicosapentaénoïque -EPA, 20:5 n-3; acide docosahexaénoïque-DHA, 22:6 n-3) est elle aussi augmentée. Mais il apparaît que les viandes de poulet et de dindon en contiennent davantage que celle de porc. Il y a donc vraisemblablement une capacité supérieure à élonguer et à désaturer le précurseur C18:3 n-3 chez les volailles. Chez le porc, un apport croissant d'huile de lin va augmenter la teneur en acide α linolénique et en EPA alors que la concentration en DHA n'est pas modifiée (Matthews et col 2000), la capacité à désaturer peut donc être un facteur limitant chez le porc.

Tableau 2. Effet de l'origine de la matière grasse du régime sur la composition en acides gras du muscle *Longissimus dorsi* chez le porc et *pectoralis* chez le poulet et le didon (expression en % des acides gras identifiés)

	Porc			**Poulet**				**Dindon (2)**	
	Suif	Huile de colza	Huile de lin (1)	Suif	Huile de colza	Huile de lin	Huile de poisson	Saindoux	Huile de Lin
C16:0	23,9	24,6	20,6	18,1	14,5	19,1	25,8	19,9	18,0
C18:0	11,9	11,6	11,1	12,5	8,6	12,4	7,7	22,6	25,0
C18:1, n-9	44,6	42,8	26,9	33,5	38,2	19,0	31,4	14,5	10,1
C18:2,n-6	11,1	11,8	23,2	18,4	21,4	23,8	14,2	26,5	27,2
C18:3, n-3	0,5	1,0	3,9	1,2	2,9	7,0	0,5	0,7	6,9
C20:4, n-6	0,1	0,2	3,2	8,0	5,5	3,4	2,3	5,1	2,9
C20:5, n-3	0,1	0,2	1,9	0,8	0,8	3,6	1,6	0,7	3,0
C22:5, n-3	0,1	0,1	2,0	2,0	2,1	4,7	1,0	1,5	2,6
C22:6, n-3	0,1	0,1	0,7	2,5	3,3	3,9	4,6	1,2	1,1
n-6/n-3	14	8,6	3,1	4,0	2,7	1,4	2,1	6,9	3,2

D'après Mourot et Hermier, 2001; (1) Matthews et col. 2000; (2)Mossab et col. 1999

Chez le bovin, la teneur en acide gras de la série n-3 est naturellement plus élevée que dans d'autres espèces en raison de la présence de ces acides gras dans le fourrage. La supplémentation de la ration en matières grasses va également influencer la nature des acides gras déposés (Bas et Sauvant, 2001), mais dans un degré moindre que

chez les monogastriques en raison des processus de modification des acides gras dans le rumen (tableau 3). La supplémentation en graines de lin extrudées des rations pour bovin qui se développe actuellement a un double objectif qui est d'accroître la teneur en acides gras n-3 dans la viande mais aussi d'augmenter la teneur en acides gras conjugués (CLA) dans le lait, ces acides gras semblant avoir des propriétés nutritionnelles intéressantes vis à vis de la santé de l'homme (Chilliard et col 2001).

Tableau 3. Effets de l'origine des matières grasses ajoutées à la ration sur la composition en acides gras des lipides des muscles de bovins (expression en %)

Régimes	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Sans matières grasses ajoutées	27,6	13,6	40,6	4,7	0,6
Poisson	28,3	12,5	40,7	4,4	0,6
Soja	26,7	14,0	40,8	5,0	0,6
Colza	27,9	15,6	39,1	5,4	0,8
Lin	24,0	13,8	45,3	4,6	1,0
Palme	27,1	14,4	43,4	5,1	0,6

D'après Bas et Sauvant, 2001

Le mode de cuisson et préparation va aussi influencer la quantité d'acides gras présentent réellement dans l'assiette du consommateur. A la cuisson, on peut observer une perte en eau qui entraîne essentiellement des protéines, mais à l'inverse la quantité de lipides va se trouver concentrée par diminution de la matière sèche. On peut donc penser que les valeurs observées sur des produits frais sont souvent sous-estimées par rapport à des produits consommés après cuisson.

Conclusion

La viande occupe une place de choix dans notre alimentation.. Elle couvre une part importante de nos besoins nutritionnels en protéines, en différentes vitamines et en minéraux (fer, zinc, sélénium). Contrairement à des idées reçues, elle ne contribue que pour une faible part (15 à 20 %) à l'apport en lipides alimentaires. En modifiant la composition en acides gras de la viande par l'utilisation dans l'alimentation des animaux de matières grasses plus riches en acides gras n-3, il sera possible de contribuer à améliorer le rapport acides gras n-6/n-3 dans l'alimentation humaine pour tendre vers la valeur préconisée par les ANC.
Ce rapport que l'on peut juger "bon" chez la volaille (entre 2 et 5) et le bovin (entre 5 et 8) est moins conforme aux souhaits des ANC chez le porc (actuellement entre 10 et 12 pour une alimentation standard).
La supplémentation des régimes en acides gras n-3 semble donc particulièrement justifiée dans l'alimentation porcine. Toutefois, le recours à des supplémentations en acides gras n-3 alimentaires peut conduire à augmenter le potentiel d'oxydation des lipides, ce qui pourra avoir des conséquences organoleptiques (goût rance) pour les viandes transformées traditionnellement comme le porc et depuis quelques années comme la volaille. Parallèlement à l'apport d'acides gras n-3, il faut donc se poser la question de l'apport de facteurs antioxydants comme la vitamine E pour préserver la viande des risques d'oxydation.

La viande doit rester un aliment fortement attractif en raison de ses caractéristiques sensorielles spécifiques. Mais, il est important pour l'avenir et le maintien de la consommation que les responsables de la production et de la transformation prennent aussi en considération la notion de valeur santé de cet aliment afin de répondre aux attentes des nutritionnistes, du monde médical et aussi des consommateurs.

Références bibliographiques

Adam D.J.D., Hansen A.E. and Wiese H.F., 1958. Essential fatty acids in infant nutrition II : effect of linoleic acid on caloric intake. J.Nutr., 66, 555-564.
ANC, Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française, (2001) AFSSA, Ed. Tec & Doc, Paris.
Antras-Ferry J., Le Bigot G., Robin P., Robin D., Forest C., 1994. Stimulation of phospho enolpyruvate gene expression by fatty acids. Biochem. Biophys. Res. Comm. 203, 385-391.
Ascherio A., Rimm F.B., Giovannuci E.L., Spiegelman D., Stampfer M., Willett W.C., 1996 Dietary fat and risk of coronary heart disease in men : cohort follow up study in the United States. B.M. J., 313, 84-90
Bartram H.P., Scheppach W., Englert S., Dusel G., Richter A., Richter F., Kasper H., 1995. Effects of deoxycholic acid and butyrate on mucosal prostaglandin E2 release and cell proliferation in the human sigmoid colon. J. Parenter Enteral Nutr. 19: 182-186.
Bas P., Sauvant D. 2001 Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. INRA Prod. Anim., 14, 311-322.

Belury M.A., Kempa-Steczko A., 1997. Conjugated linoleic acid modulates hepatic lipid composition in mice. Lipids, 32, 199-204.
Bourre J.M., François M., Youyou A., Dumont O., Picotti M., Pascal G. and Durand G., 1989.
The effects of dietary α-linolenic acid on the composition of nerve membranes, enzymatic activity amplitude of electrophysiological parameters, resistance to poisons and performance of learning tasks in rats. J. Nutr., 119, 1880-1892.
Burr G.O. and Burr M.M., 1929. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. J. Biol. Chem. , 82, 345-367.
Cambien F. Alhenc-Gelas F. Herbeth B. Andre JL. Rakotovao R. Gonzales MF. Allegrini J. Bloch C. 1988 Familial resemblance of plasma angiotensin-converting enzyme level: the Nancy Study. American Journal of Human Genetics. 43, 774-80,
Chen S.G., Murakami K., 1994. Effects of cis-fatty acid on protein kinase C activation and protein phosphorylation in the hippocampus. J. Pharmaceutical Sciences and technology, 48, 71-75.
Chilliard Y., Ferlay Y., Doreau M. 2001 Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras *trans*, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. INRA Prod. Anim., 14, 323-335.
Crawford M.A., The balance between alpha-linolenic and linoleic acid. In "The role of fats in Human Nutrition". Brun J.P., et al. Eds 1985, Chichester:Ellis Horwood 62
Culioli J , Berri C, Mourot J. La viande, consommation, composition, qualités, in Nutrition préventive. Editions INRA. Demigné et Rémesy éditeurs. 2002 à paraître
De Lorgeril M., Renaud S., Mamellen N., 1994 Mediterranean alpha-linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease. Lancet, 343, 1454-59
Eaton S. B., Konner M., 1985. Paleolithic nutrition. A consideration of its nature and current implications. New Engl. J. Med., 312, 283-289.
Feldman E.B., Kris-Etherton P., Kritchevsky D. and Lichtenstein A.H., 1996, Position paper on trans fatty acids. ASCN/AIN task force on trans fatty acids. Am. j. Clin. Nutr., 63, 663-670.
Geay Y., Bauchart D., Hocquette J.F., Culioli J., 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminant. Consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. Reprod. Nutr. Dev., 41, 1-26.
Gordon C.D. and Kraemer H.C., 1995. Monounsaturated versus polyunsaturated dietary fat and serum lipids. A meta-analysis. Arteriosclerosis Thromb. Vasc. Biol., 15, 1917-1927.
Gründy S.M., 1994. Influence of stearic d on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. Am. J. Clin. Nutr., 60 : 986S-990S;
Gründy S.M., Ahrens E.H. Jr. The effects of unsaturated dietary fats on absorption, excretion, synthesis and distribution of cholesterol in man. J. Clin. Invest. 1970:49:1135-52
Hansen A.E., Haggard M.E., Boelsche A.N., Adam D.J.D.,Wiese H.F., 1958. Essential fatty acids in infant nutrition III : clinical manifestations of linoleic acid deficiency. J. Nutr., 66, 565-576.
Holman R.T. , Johnson S.B. and Hatch F., 1982. A case of human linolenic acid deficiency involving neurological abnormalities. Am. J. Clin Nutr., 35, 617-623.
Hughes T.A., Heimberg M., Wang X., Wilcox H., Hughes S.M., Tolley E.A., Desiderio D.M., Dalton J.T., 1996. Comparative lipoprotein metabolism of myristate, palmitate, and stearate in normolipidemic men. Metabolism. 45 : 1108-1118.
Ip C., Birt D., Rogers A., Mettlin C., 1986. Dietary fat and cancer, Alan R. Riss Inc. New York.
Jacotot B., 1988. Acides gras alimentaires pour la prévention du risque coronarien. Cah. Nutr. Diet., 23, 211-214.
Kagawa Y., Nishizawa M., Suzuki M., 1982 Eicosapolyenoic acid of serum lipids of Japanese islanders with low incidence of cardiovascular diseases. J. Nutr. Sci. Vitaminol., 28, 441-53
Keys A. 1970 Coronary heart disease in Seven Countries. Circulation, 41 (suppl1):1-221
McLennan P.L., Dallimore J.A., 1995 Dietary canola oil modifies myocardial fatty acids and inhibits cardiac arrhythmias in rats. J. Nutr., 125, 1003-9
Kris –Etherton P.M., Dietschy J., 1997. Design criteria for studies examining individual fatty acid effects on cardiovascular disease risk factors : human and animal studies. Am. J. clin. Nutr. 65, 1590S-1596S.
Kromhout D., Menotti A., Bloemberg B., Aravanis C., Blackburn H., Buzina R., Dontas A.S., Fidanza F., Giampaolis S., Jansen A., 1995. Dietary saturated and trans fatty acids and cholesterol and 25-year mortality from coronary heart disease : the seven countries study. Prev. Med., 24, 308-315.
Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J. 1999 Caractéristiques et qualité des tissus musculaires chez le porc. Facteurs de variation non génétiques. INRA Prod. Anim. 12, 11-28.
Legrand P., Catheline D., Fichot M.C. and Lemarchal P., 1997. Inhibiting Δ9-desaturase activity impairs triacylglycerol secretion in cultured chicken hepatocytes. J. Nutr., 127, 249-256.

Malvy D., Preciosi P., Galan P., Roussel A.M., Favier A., Briancon S., Hercberg S., 1999. La consommation de lipides en France : contribution à l'équilibre nutritionnel (données préliminaires de l'étude SU.VI.MAX.). O.C.L., 6, 21-25.
Matthews K.R., Homer D.B., Thies F., Calder P.C., 2000. Effetct of whole linseed in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty acid composition of various tissues. British Journal of Nutrition, 83, 637-643.
Mossab A., Lessire M., Hallouis J.M., Hermier D., 1999. Effet de la nature des lipides alimentaires sur la composition corporelle du dindonneau. 3ème Journées de la Recherche Avicole.
Mourot J., Hermier D., 2001. Lipids in monogastric animal meat. Reprod. Nut. Dev., 41, 109-118.
Nicolisi R.J., 1997. Dietary fat saturation effects on low-density-lipoprotein concentrations and metabolism in various animal models. Am. J. Clin. Nutr. 65, 1617S-1627S.
Ranganna K., Joshi T., Yatsu F.M., 1995. Sodium butyrate inhibits platelet-derived growth factor-induced proliferation of vascular smooth muscle cells. Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 15 : 2273-2283.
a- Renaud S., Godsey F., Dumont E., Thevenon C., Ortchanian E. 1986 Influence of diet modification on platelet function and composition in Moselle farmers. AM. J. Clin. Nutr., 43, 136-50.
b - Renaud S., Morazain R., Godsey F., 1986 Nutrients, platelet function and composition in nine groups of French and British farmers. Atherosclerosis, 60, 37-48.
Rioux V., Lemarchal P. and Legrand P., 2000. Myristic acid unlike palmitic acid is rapidly metabolized in cultured rat hepatocytes. Journal of Nutritional Biochemistry, 11, 198-207.
Siebert B.D., McLennan P.L., Woodhouse J.A., Charnok J.S., 1993 Cardiac Arrhythmia in rats in response to dietary n-3 fatty acids from red meat, fish oil and canola oil. Nutr. Res, 13, 1407-18
Van Houwelingen A.C.V., Hennissen A.A.M., Verbeek-Schippers, 1988 Effect of a moderate fish intake on platelet aggregation in human platelet rich plasma. Thromb Haemost, 59, 507-13
Volatier J.L., Brousseau-Kowalski A.D., Calamassi-Tran G., Couvreur A., Dufour A., Maffre J., Evans C., 2000. Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires (INCA). Ed. Tec&Doc-Lavoisier, Paris, France.

Qualités nutritionnelles des viandes

Animateurs : J. MOUROT (INRA-Rennes)
et P. PATUREAU-MIRAND (INRA-Clermont Fd)

Communications orales

INCIDENCE DU MODE DE PRODUCTION (LABEL, STANDARD, CERTIFIE) SUR LA TENEUR EN LIPIDES ET LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU FILET ET DU BLANC DE POULET

CHARTRIN P., QUENTIN M., BERRI C., LEBIHAN-DUVAL E., BAEZA E.
Station de Recherches Avicoles, INRA de Tours, 37380 Nouzilly, FRANCE

INTRODUCTION

Chez les volailles, la composition en acides gras des lipides totaux des muscles reflète la composition en acides gras des aliments. Girard *et al.* (1993) et Culioli *et al.* (1994) ont montré qu'il était possible de discriminer les filets de poulets standards et labels sur la base de leur profil en acides gras, la teneur en acides gras poly-insaturés (AGPI) étant supérieure chez le poulet label au détriment de la teneur en acides gras mono-insaturés (AGMI). Ces différences étaient dues essentiellement à l'alimentation des poulets labels, moins riche en matières grasses que celle des poulets standards et d'origine exclusivement végétale. Depuis novembre 2000, les matières premières d'origine animale ont fait l'objet d'une suspension pour la fabrication des aliments destinés aux volailles. La discrimination entre labels et standards induite par l'alimentation a donc été modifiée. Dans l'étude conduite par Rabot (1998), les poulets labels et standards recevaient tous une alimentation d'origine végétale. L'analyse des profils en acides gras des lipides totaux du filet révélait dans ce cas que les teneurs en acides gras saturés (AGS) et mono-insaturés étaient inférieures et celle en acides gras poly-insaturés supérieure chez le poulet standard. Notre objectif était de réévaluer ces résultats sur trois types génétiques couramment utilisés aujourd'hui : les labels, standards et certifiés (issus du croisement entre les précédents génotypes) mais aussi de caractériser le profil lipidique des produits de transformation, ici les blancs de poulet.

MATERIELS ET METHODES

Des poulets standards, certifiés et labels (Hubbard-ISA) ont été élevés en claustration à la Station de Recherches Avicoles (INRA Nouzilly) et abattus aux âges de 6 et 7 semaines pour les standards, 8 semaines pour les certifiés et 12 semaines pour les labels (Berri *et al.*, 2002). L'aliment était distribué *ad libitum*. Les principales matières premières utilisées pour la formulation des aliments étaient le blé, le maïs et le soja sous forme de tourteaux, de graines entières et/ou d'huile. Des échantillons d'aliments ont été prélevés à l'issue de chaque fabrication et stockés à +4°C. Sur 16 animaux par lot, des échantillons de filet (*Pectoralis major*) ont été prélevés en fin d'abattage, congelés aussitôt et stockés à –20°C. Après un ressuage de 24 h à +4°C, les carcasses entières de 64 poulets par lot ont été découpées. Les filets droits ont été emballés sous vide, congelés et conservés à –20°C jusqu'à la mise en œuvre de la transformation en blancs de poulet par saumurage-cuisson (une fabrication par lot) par l'ADIV (Clermont-Ferrand ; Berri *et al.*, 2002). Les lipides totaux des aliments, des filets et des blancs ont été extraits selon la méthode de Folch *et al.* (1957). La composition en acides gras a été déterminée après transméthylation (T60-233 ; AFNOR, 1977) par chromatographie en phase gazeuse (Perkin Elmer, St Quentin en Yvelines, France) dont les principaux paramètres étaient : une température d'injection et de détection de 250°C, l'azote comme gaz vecteur et une pression en tête de colonne de 16.5 psi. Les esters méthyliques ont été identifiés et quantifiés par comparaison avec des standards (Sigma, St Quentin Fallavier, France). Les résultats ont fait l'objet d'une analyse de variance en étudiant l'effet du facteur « mode de production ».

RESULTATS ET DISCUSSION

La quantité de matières grasses dans les aliments s'accroît avec l'âge des animaux et elle est plus élevée pour ceux destinés aux poulets standards qui présentent le pourcentage en AGMI le plus important (tableau 1). A l'opposé, les aliments destinés aux labels présentent la plus faible teneur en lipides en particulier pour la période 3-8 semaines où une grande partie du maïs a été remplacée par du blé. Ces aliments sont également les plus riches en AGS et en AGPI (tableau 1). Pour l'ensemble des aliments, au sein des AGS, AGMI et AGPI, les acides palmitique (C16:0), oléique (C18:1) et linoléique (C18:2) sont respectivement majoritaires. Dans le filet, la quantité de lipides totaux est significativement plus élevée chez les poulets standards abattus à 7 semaines et plus faible chez les poulets certifiés (tableau 2). Après transformation, la teneur en lipides a augmenté sauf pour les standards abattus à 6 semaines au détriment des teneurs en eau et en protéines (Berri *et al.*, 2002). L'étude des profils en acides gras (tableau 2), nous montre que les filets des poulets labels et certifiés présentent la plus forte proportion d'acides gras saturés, notamment en C16:0 (acide palmitique). Les labels ont aussi le pourcentage en AGMI le plus élevé, alors que les certifiés en sont les plus faiblement pourvus. En effet, les labels ont une proportion plus importante d'acide palmitoléique (C16:1) et oléique (C18:1) et les certifiés ont moins d'acide oléique. L'apport alimentaire quantitatif en AGPI étant plus important pour les animaux standards, la proportion de ces AG est également plus élevée dans leur filet par comparaison avec les autres lots. La transformation des

filets en blancs induit une diminution de la proportion des AGPI au profit des AGMI (C18:1) et des AGS (C16:0), en particulier pour les standards et les certifiés. Ce sont surtout les AGPI à chaînes longues qui disparaissent. Il semblerait que l'intégrité des membranes cellulaires riches en AGPI soit moins affectée dans les filets de poulets labels du fait d'une protection par un tissu conjonctif moins soluble. La transformation par saumurage-cuisson nivelle donc les différences de profil en acides gras entre types de production.
Par comparaison avec du jambon de porc découenné et dégraissé (Favier *et al.*, 1995), la teneur en lipides du blanc de poulet est moindre : 1.2 à 1.7 % *vs* 3.0 à 4.2 % mais les profils en acides gras sont équivalents. Nos résultats confirment ceux obtenus précédemment par Rabot (1998). Les filets de poulets labels et certifiés sont à présent plus riches en acides gras saturés que ceux des poulets standards. Toutefois, leur teneur en lipides totaux reste faible. Sur le plan technologique ceci est intéressant car la viande et les produits transformés sont moins sensibles aux phénomènes d'oxydation.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'ITAVI, la société Hubbard-ISA et l'ADIV dans le cadre d'un projet financé par l'OFIVAL.

REFERENCES

AFNOR, 1977. Norme T60-233, Association Française de Normalisation, Paris, France.
Berri C., Le Bihan-Duval E., Baéza E., Quentin M., Picard M., Chartrin P., Picgirard L., Jehl N., Duclos M., 2002, soumis à Brit. Poult. Sci.
Culioli J., Touraille C., Ricard F., 1994. Proc. 9th Europ. Poult. Conf. Glasgow, vol. II, 25-28.
Favier J.C., Ireland-Ripert J., Toque C., Feinberg M., 1995. Répertoire Général des Aliments. Ed. Lavoisier Tec Doc, INRA, CIQUAL-REGAL, Paris (France), 323-324.
Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Girard J.P., Culioli J., Denoyer C., Berdagué C., Touraille C., 1993. Arch. Geflügelk., 57 (1), 9-15.
Rabot C., 1998. Thèse de Doctorat, INA PG, Paris, pp. 156.

TABLEAU 1 : Teneur en énergie métabolisable (EM), protéines brutes (PB), lipides totaux, acides gras saturés (AGS), mono-insaturés (AGMI) et poly-insaturés (AGPI) des aliments

Régimes	Périodes (semaines)	EM (Kcal/kg)	PB (g/kg)	Lipides totaux (g/kg)	AGS (%)	AGMI (%)	AGPI (%)
Label	0-3	2800	201.0	35.3	16.8	34.4	48.8
	3-8	2899	175.0	29.2	18.4	33.0	47.9
	8-12	2950	165.0	37.3	18.4	33.1	48.5
Certifié	0-1	2850	209.9	35.5	16.9	36.3	46.8
	1-3	2901	200.7	38.7	23.2	36.6	40.2
	3-6	3000	191.0	45.9	14.1	39.7	40.8
	6-8	3102	181.2	71.4	14.1	39.7	46.2
Standard	0-1	2900	221.1	46.1	12.4	43.5	44.1
	1-3	3000	204.8	50.4	12.5	46.1	41.4
	3-6	3151	200.8	81.2	12.8	43.0	44.2
	6-7	3250	190.2	92.8	11.6	42.5	46.0

TABLEAU 2 : Teneur en lipides totaux, acides gras saturés (AGS), mono-insaturés (AGMI) et poly-insaturés (AGPI) des filets et des blancs de poulets

	Standard 6 sem.	Standard 7 sem.	Certifié 8 sem.	Label 12 sem.
Filets (n = 16)				
Lipides totaux (g/kg)	12.5 ± 2.4 **a**	13.8 ± 3.8 **a**	10.1 ± 1.4 **b**	11.8 ± 1.2 **ab**
AGS (%)	29.4 ± 1.4 **b**	29.0 ± 1.8 **b**	34.0 ± 2.3 **a**	34.5 ± 1.9 **a**
AGMI (%)	40.6 ± 1.8 **b**	40.5 ± 1.8 **b**	38.3 ± 2.1 **c**	44.3 ± 1.9 **a**
AGPI (%)	30.0 ± 1.4 **a**	30.5 ± 1.6 **a**	27.8 ± 1.2 **b**	21.2 ± 2.3 **c**
Blancs (n = 1)				
Lipides totaux (g/kg)	11.5	16.7	14.2	14.9
AGS (%)	36.8	35.1	39.9	34.6
AGMI (%)	46.8	48.8	48.8	47.4
AGPI (%)	16.4	16.1	11.3	18.0

a, b, c : différence significative entre lots pour un paramètre donné à $P < 0.01$

EFFET D'UN REGIME RICHE EN ACIDE LINOLENIQUE SUR LES ACTIVITES D'ENZYMES LIPOGENIQUES, LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS ET LA QUALITE DE LA VIANDE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

M. KOUBA*, M. ENSER[†], F. M. WHITTINGTON[†], G. R. NUTE[†] ET J. D. WOOD[†]
*** UMR INRA-ENSAR Veau Porc, 35 590 Saint-Gilles, France ; [†]Division of Food Animal Science, Department of Clinical Veterinary Science, University of Bristol, Langford, Bristol BS40 5DU, U. K.**

Introduction Les nutritionnistes préconisent une augmentation de la teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) ω3 dans le régime alimentaire de l'homme, en raison de leur rôle dans la prévention des maladies coronariennes. Il est possible d'augmenter leur teneur dans la viande porcine en enrichissant la ration alimentaire des animaux en graine de lin. Le niveau d'enrichissement de la viande en AGPI ω3 dépend de plusieurs facteurs comme :

- la concentration des différentes classes de lipides dans les tissus (par exemple les phospholipides qui sont riches en AGPI sont plus abondants dans le muscle que dans le tissu adipeux)
- la compétition avec les AGPI ω6
- les possibles effets inhibiteurs des AGPI sur la synthèse des acides gras saturés et monoinsaturés

Le but de l'expérience était d'étudier la cinétique d'incorporation des AGPI ω3 dans les lipides tissulaires et la qualité organoleptique de la viande. En parallèle, nous avons étudié l'effet de ces AGPI ω3 sur les activités d'enzymes de la lipogénèse et sur la Δ9-désaturase qui est à l'origine des acides gras monoinsaturés, acides gras représentant près de la moitié des acides gras totaux chez le porc.

Matériel et méthodes Quarante huit truies (Duroc X Landrace) ont été utilisées. A partir de 40 kg de poids vif, un groupe d'animaux (24) a reçu un régime témoin T (2.4% de lipides dont 6% de 18 : 3, 1.5% de vitamine E) et l'autre groupe de 24 truies a reçu un régime L contenant 6% de graines de lin entières (4% de lipides dont 29% de 18 : 3, 1.5% de vitamine E). Les animaux ont été nourris à volonté et ont été abattus 20, 60 et 100 jours plus tard, à raison de 8 animaux par stade. Les performances de croissance et d'abattage ont été relevées. La teneur en lipides totaux et la composition en acides gras ont été mesurées dans le tissu adipeux sous-cutané et la longe selon la méthode de Folch et al., 1957. Les activités enzymatiques [acétyl-CoA-carboxylase (ACC), enzyme malique (EM), glucose-6-phophate déshydrogénase (G6PDH) et Δ9-désaturase] ont été dosées dans le tissu adipeux sous-cutané selon la méthode de Kouba et Mourot, 1998. La longe des groupes 60 et 100 jours a été conservée à 1°C pendant 10 jours avant l'analyse sensorielle par un jury entraîné, selon la méthode décrite par Wood et al., 1995. Au bout de 7 jours de conservation, l'oxydation lipidique y a été mesurée par la méthode du dosage de l'acide thiobarbiturique (TBA) de Tarlagdis et al., 1960. Au bout de 10 jours de conservation, des steaks coupés dans la longe ont été grillés à une température interne de 80°C et testés et notés par le jury (échelle de 1 à 8).

Résultats et discussion Cette étude a montré qu'il est possible de nourrir les porcs avec un régime enrichi en graines de lin sans effets négatifs sur les performances de croissance et d'abattage des animaux. Il n'y a pas eu d'effet du régime sur la teneur en lipides totaux du tissu adipeux, tandis que le muscle des animaux ayant reçu durant 60 jours le régime L contenait moins de lipides que le muscle des animaux ayant reçu le régime témoin durant la même durée. Il est possible d'augmenter rapidement la teneur en AGPI ω3 de la viande porcine. En effet, après seulement 20 jours, les proportions de 18 : 3 et 20 : 5 étaient proches de leurs pics dans le muscle et le tissu adipeux sous-cutané, avec un plus fort niveau de 18 : 3 dans le tissu adipeux et de 20 : 5 dans le muscle (Tableau 1). Cette augmentation rapide de la proportion de ces deux acides gras a déjà été démontrée (Cameron et al., 2000 ; Riley et al., 2000). L'absence d'effet du régime enrichi en lin sur la proportion en 22 : 6 observée dans la présente étude a déjà été mise en évidence (Riley et al., 2000). Les nutritionnistes recommandent un rapport en acides gras polyinsaturés sur acides gras saturés (AGPI/AS) égal ou supérieur à 0.4, et un rapport AGPI (n – 6) sur AGPI (n – 3) compris entre 1 et 4 dans le régime alimentaire de l'homme. Cette étude montre qu'il est possible d'atteindre ces objectifs dans la viande de porc ayant reçu un régime enrichi en graines de lin (Tableau 1). La consommation d'une telle viande est dès lors conseillée. Les meilleurs rapports sont obtenus après 60 jours de consommation du régime L.

Il n'y a pas eu d'effet du régime sur les activités des enzymes ACC, EM et G6PDH, quel que soit le tissu considéré et le stade. Cette absence d'effet du régime sur l'activité de ces enzymes peut être liée à la teneur en lipides totaux du régime L, deux fois plus élevée que celle du régime témoin. En effet, des études ont montré que lorsqu'il y a augmentation concomitante de la teneur en lipides totaux et en AGPI du régime expérimental, les activités des enzymes lipogéniques sont identiques dans les deux régimes, expérimental et témoin (Mersmann et al., 1976 ; Bursboom et al., 1991). La plus faible proportion d'acide oléique dans le tissu adipeux de porc ayant reçu le régime L, quel que soit le stade, a déjà été mise en évidence (Romans et al., 1995 ; Matthews et al., 2000). Cette étude montre pour la première fois que cette plus faible proportion de 18 : 1 peut être au moins en partie attribuée à la réduction de l'activité de la Δ9-désaturase. Cette dernière était en effet plus faible avec le régime L, surtout au stade 60 jours, stade auquel les proportions de 18 : 3 et de 20 : 5 étaient les plus fortes (Tableau 1).

Il y a eu un effet du régime sur l'odeur de porc du tissu adipeux, plus faible avec le régime L, et l'odeur anormale, plus forte dans le tissu adipeux des porcs ayant reçu le régime L. Ces différences entre les deux régimes étaient cependant très faibles. Il n'y a pas eu d'effet du régime sur la qualité organoleptique du muscle (Tableau 2). L'oxydation lipidique a été plus forte avec le régime L ($P < 0.001$). Ceci était probablement dû à la teneur plus forte en AGPI du régime L. Cependant, cette oxydation (mesurée selon la méthode TBA) était très faible quels que soient le régime et le stade, avec des valeurs inférieures à 0.2, les

consommateurs ne pouvant détecter de problème de flaveur quand les valeurs sont inférieures à 0.5. Ces résultats confirment les résultats d'études antérieures (Matthews et al., 2000 ; Riley et al., 2000).

Tableau 1 Effets du régime et de la durée de l'expérimentation sur la teneur en lipides totaux (g/ 100g de tissu) et la proportion des acides gras dans le muscle (Longissimus) et le tissu adipeux sous-cutané, et sur l'activité de la Δ9-désaturase dans le tissu adipeux sous-cutané (nmoles d'acide oléique/mg de protéines).

Durée de l'alimentation	20		60		100		s.e.d.
	C	L	C	L	C	L	
			Tissu adipeux sous-cutané				
Δ9-désaturase	12.2[a]	9.30[a]	29.8[c]	17.9[b]	18.9[b]	17.4[b]	1.35
Lipides totaux	69.4[a]	75.7[a]	85.3[c]	82.4[b]	86.0[c]	86.7[c]	0.74
18 : 1	38.3[a]	37.5[a]	42.5[b]	38.8[a]	41.7[b]	40.3[b]	0.75
18 : 3	1.98[b]	4.66[c]	1.47[a]	6.51[d]	1.13[a]	5.04[c]	0.24
20 : 5	0.05[a]	0.10[b]	0.03[a]	0.07[b]	0.02[a]	0.05[a]	0.01
AGPI/AS	0.68	0.71	0.43	0.67	0.32	0.48	
Σ(n – 6)/ Σ (n – 3)	6.70	3.20	6.30	2.05	6.39	2.07	
			Muscle (Longissimus)				
Lipides totaux	0.98[a]	0.97[a]	1.25[b]	1.00[a]	1.28[b]	1.23[b]	0.16
18 : 3	0.97[b]	2.77[d]	0.65[a]	3.00[d]	0.48[a]	2.19[c]	0.17
20 : 5	0.30[a]	0.68[c]	0.26[a]	0.77[c]	0.17[a]	0.44[b]	0.06
AGPI/AS	0.60	0.97	0.37	0.54	0.31	0.38	
Σ (n – 6)/ Σ (n – 3)	7.64	3.90	7.34	3.00	8.71	3.11	

Sur une ligne, les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement à au moins $P < 0.05$

Tableau 2 Effet du régime sur les odeurs de la viande de porc dans les groupes 60 et 100 jours combinés (échelle de notation du jury entraîné de 1 à 8)

	C	L	s. e.d.
	Tissu adipeux sous-cutané		
Odeur de porc	3.5[b]	3.2[a]	0.12
Odeur anormale	2.9[a]	3.2[b]	0.13
	Muscle (Longissimus)		
Odeur de porc	3.4	3.4	0.11
Odeur anormale	3.3	3.4	0.13

Sur une ligne, les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement à au moins $P < 0.05$

Conclusions La consommation par les porcs d'un régime enrichi en graines de lin augmente significativement la proportion en AGPI ω3, en particulier les acides 18 :3 et 20 :5, et diminue le rapport (n – 6)/ (n – 3). Cet effet intervient très tôt, en 20 à 60 jours. Une telle viande répond à la demande du consommateur, soucieux de consommer une nourriture saine d'un point de vue diététique. Les problèmes de qualité de la viande qu'on pourrait redouter, comme des problèmes d'oxydation et donc de conservation, ainsi que des problèmes de flaveurs et d'odeurs indésirables, peuvent être évités par l'incorporation de niveaux relativement élevés de vitamine E.

Références

Bursboom, J.R., D.C. Rule, D. Colin, T. Heald, et A. Mazhar. 1991. J. Anim. Sci. 69:1101-1108.
Cameron N.D., J.D.Wood, M.Enser, F.M. Whittington, J.C. Penman, et A.M. Robinson. 2000. Meat Sci. 56:379-386.
Folch J., M. Lees, et G.H. Sloane Stanley. 1957. J. Biol. Chem. 226 :497-509.
Kouba, M., J. Mourot. 1998. Reprod. Nutr. Dev. 38 :31-37.
Matthews, K.R., D.B.Homer, F.Thies, et P.C. Calder. 2000. Br. J. Nutr. 83:637-643.
Mersmann, H.J., C.D. Allen, D.G. Steffen, L.J. Brown, et D.M. Danielson. 1976. J. Anim. Sci. 43:140-150.
Riley, P.A., M. Enser , G.R. Nute., et J.D. Wood. 2000. Anim. Sci. 71:483-500.
Romans J.R., D.M. Wulf, R.C. Johnson, G.W. Libal, et W.J. Costello. 1995. J. Anim. Sci. 73:1987-1999.
Tarladgis B.G., B.M. Watts, et M.T. Younathan. 1960. J. Am. Oil Chem. Soc. 37:44-48.
Wood, J.D., G.R. Nute, G.A.F. Fursey, et A. Cuthbertson. 1995. Meat Sci. 40:127-135.

INFORMATION NUTRITIONNELLE ET CONSOMMATION ALIMENTAIRE EN FRANCE

V. NICHELE
INRA-CORELA - 65 Bd de Brandebourg - 94205 Ivry sur Seine Cedex

L'objectif de cette communication est d'expliquer les comportements de consommation alimentaire en France et d'évaluer l'impact de l'information nutritionnelle reliant le cholestérol et la santé sur les comportements.

Depuis le début des années 60, de nombreuses études épidémiologiques ont montré que la consommation excessive de cholestérol alimentaire et d'acides gras saturés accroît les risques de maladies cardio-vasculaires. Les recommandations nutritionnelles émanant de l'ensemble des professionnels de la santé sont allées de pair avec les progrès de la recherche médicale. Dès les années 80, l'état de santé des français s'est considérablement amélioré. En ce qui concerne le taux de mortalité par maladies cardio-vasculaires, la France est la mieux placée parmi l'ensemble des pays industrialisés à l'exception du Japon. Cependant, cette situation favorable est tout à fait comparable à celle qui prévaut dans le plupart des pays du sud de l'Europe. Les maladies cardio-vasculaires restent la principale cause de mortalité en France étant à l'origine de 32% des décès. Elles constituent la troisième cause de décès prématurés (intervenant avant 65 ans). En outre, les coûts directs et indirects de ces maladies sont estimés à environ 30 milliards de francs pour l'année 1986.

Bien que l'influence des facteurs alimentaires sur les maladies cardio-vasculaires ne soit pas clairement quantifiée, il paraît intéressant d'évaluer l'impact de l'information nutritionnelle reliée à ces maladies sur les comportements de consommation alimentaire. Pour mener à bien cette étude, on doit d'abord choisir une mesure de l'information dont disposent les consommateurs. Puis parallèlement à l'analyse des effets des facteurs économiques et socio-démographiques sur les comportements, on déterminera dans quelles proportions l'information nutritionnelle affecte la consommation alimentaire.

De nombreuses études américaines sont consacrées à la construction et à l'utilisation d'indices d'information reliant l'alimentation et la santé. L'article de référence est celui de Brown et Schrader (1990) dont les principales hypothèses peuvent être résumées comme suit. Les résultats de base de la recherche médicale sont publiés sous forme d'articles dans les journaux scientifiques de médecine. Ces articles sont lus et leurs résultats sont disséminés par les organismes de service public, le personnel médical, les médias, les industriels de l'agro-alimentaire, les associations de protection des consommateurs… Brown et Schrader (1990) supposent que les consommateurs modifient leurs comportements au fur et à mesure que l'information scientifique se propage et s'accumule. Sous ces hypothèses, ils ont proposé un indice d'information-santé basé sur le nombre d'articles publiés trimestriellement et couvrant la période 1966-87. Le comptage des articles est réalisé à partir de la base de données médicales MEDLINE qui rassemble les résumés d'articles publiés dans 4000 journaux scientifiques. La sélection des articles d'intérêt est le résultat d'interrogations de la base de données en utilisant les mots clés « cholesterol and (heart disease or arteriosclerosis) ». La plupart des indices d'information nutritionnelle existant dans la littérature sont fondés sur les mêmes hypothèses et sont construits selon des méthodes analogues. Cependant, ils peuvent reposer sur l'utilisation de mots clés supplémentaires, considérer un éventail de journaux scientifiques plus large, faire l'objet de procédures de correction plus approfondies… Ils constituent autant de variantes de l'indice original de Brown et Schrader. Par exemple, l'indice utilisé dans cette communication est celui proposé par Rickertsen et Slaen[1]. C'est un indice mensuel défini sur la période 1966-97 et basé sur l'utilisation des mots clés « fat(s) or cholesterol and (heart disease or arteriosclerosis) and diet ».

Cette mesure de l'information est introduite dans un système de demande alimentaire de forme « Quadratic Almost Ideal Demand System » (QUAIDS) développé par Banks et *al.* (1997). Pour chaque ménage, la forme fonctionnelle QUAIDS met en relation les coefficients budgétaires des différents groupes de biens alimentaires avec les logarithmes de leurs prix et de la dépense totale qu'ils représentent. A ceux-ci s'ajoute un terme quadratique du logarithme de la dépense permettant une meilleure description des comportements de consommation. L'hétérogénéité des ménages est prise en compte dans le modèle par l'introduction d'un ensemble de variables socio-démographiques relatives aux ménages et aux individus qui les composent. L'estimation est menée à partir des données micro-économiques de l'enquête « Consommation Alimentaire » réalisée par l'INSEE sur la période 1978-91 (Bertrand (1993), Nichèle et Poupa (1997)). En référence aux

[1] Cf. thèse de Slaen non publiée à ce jour.

travaux antérieurs et après plusieurs essais empiriques, l'indice d'information mensuel est introduit avec 12 retards pour tenir compte de l'effet quasi immédiat de l'information sur les comportements ainsi que des effets retardés. Le système de demande est défini sur 15 groupes de biens alimentaires. Ceux-ci ont été en partie constitués en considérant la composition en graisses et en cholestérol des aliments. Nous avons finalement retenu les catégories suivantes : Bœuf, Porc, Autres Viandes (veau, mouton, agneau, chèvre, cheval), Produits de Charcuterie, Volailles, Oeufs, Poisson, Lait, Fromages, Yaourts et Desserts Lactés, Beurre et Graisses Animales, Huiles et Graisses Végétales, Légumes, Fruits, Produits à Base de Céréales. Les paramètres estimés sont utilisés pour calculer les élasticités de la demande par rapport à la dépense totale et aux prix des produits ainsi que les élasticités par rapport à l'indice d'information nutritionnelle. Ils fournissent également une mesure des effets des variables socio-démographiques sur les comportements de consommation. Les valeurs des élasticités-dépense permettent de classer les catégories de produits retenues en biens nécessaires (élasticités inférieure à un) ou en biens de luxe (élasticité supérieure à un). Les élasticités-prix croisées servent à repérer les biens substituts (élasticité croisée positive) ou compléments (élasticité croisée négative). Relativement à une étude similaire menée sur données macro-économiques européennes, les résultats obtenus sont très encourageants (Rickertsen et Von Cramon-Taubadel (2000)). En comparant avec les résultats d'estimation d'un système de demande « classique », on vérifie d'abord que l'introduction de l'indice d'information ne détériore pas les coefficients d'élasticité traditionnels. Ainsi, on peut remarquer que la demande de toutes les catégories de viandes, des produits de charcuterie, des volailles, des oeufs, du poisson, du fromage, des fruits et des légumes réagit plus que proportionnellement aux variations de la dépense totale alimentaire. Inversement, les produits laitiers, les graisses et les produits à base de céréales affichent des élasticités-dépense inférieures à un. Les élasticités-prix directes vérifient bien la loi de la demande : elles sont toutes significatives et négatives. De plus, les ordres de grandeur et la significativité des coefficients d'élasticité par rapport à l'information-santé montrent que cette variable joue un rôle important dans l'explication de la demande alimentaire en France. Les résultats sont très plausibles et comparables à ceux obtenus dans la plupart des études menées à partir de données américaines (par exemple : Capps and Schmitz (1991), Kinnucan et *al.* (1997)). En particulier, l'information nutritionnelle a un effet négatif sur la consommation de bœuf, porc, œufs et beurre mais un effet positif sur la consommation d'huile et de produits laitiers. Comme on pouvait s'y attendre, les résultats concernant les facteurs socio-démographiques font apparaître l'influence non négligeable de certaines variables : par exemple, l'effet du niveau d'éducation porte à conclure que les ménages « peu éduqués » tendent à avoir des habitudes de consommation alimentaire riche en graisses et cholestérol et pauvre en fruits et légumes. La sensibilité des ménages aux problèmes relatifs à l'alimentation et à la santé et leur degré de réception de l'information étant fortement liés à leurs caractéristiques socio-démographiques, le modèle peut être amélioré par une analyse par sous-groupes de population prenant en compte l'âge et le niveau d'éducation des individus.

En contribuant à l'explication des comportements de consommation alimentaire en France et à l'évaluation de l'impact de l'information en matière de santé sur les comportements, le modèle estimé peut être utilisé pour déterminer comment il est possible d'agir sur les principaux facteurs explicatifs de la consommation alimentaire de façon à orienter les comportements (par exemple, par le biais de simulations de réformes de la fiscalité indirecte qui en agissant directement sur le prix entraînent des variations de consommation des aliments ou encore par simulation des comportements en fonction des modifications de l'offre…). De plus, il peut constituer un instrument de mesure de l'influence des politiques publiques de prévention par la nutrition comme, par exemple, celle mise en place dans le cadre du Programme National Nutrition Santé (PNNS).

Références bibliographiques :

Banks, J., Blundell, R.W. and Lewbel, A. (1997) Quadratic Engel curves and consumer demand. *The Review of Economics and Statistics* 79, 527-539.

Bertrand, M. (1993) *Consommation et Lieux D'achat des Produits Alimentaires en 1991*. INSEE Conditions de Vie des Ménages, INSEE Résultats-Consommation-Modes de Vie n° 54-55, Paris, 299pp.

Brown, D.J. and Schrader, L.F. (1990) Cholesterol information and shell egg consumption. *American Journal of Agricultural Economics* 72, 548-555.

Capps Jr, O., and Schmitz, J.D. (1991) A recognition of health and nutrition factors in food demand analysis. *Western Journal of Agricultural Economics* 16, 21-35.

Kinnucan, H.W., Xiao, H., Hsia, C. J. and Jackson, J.D. (1997) Effect of health information and generic advertising on U.S. meat demand. *American Journal of Agricultural Economics* 79, 13-23.

Nichèle, V., et Poupa, J. C. (1997) Chronique des enquêtes alimentaires INSEE de 1969 à 1991. *mimeo*.

Rickertsen, K., and Von Cramon-Taubadel, S. (2000) Nutrition, health, and the demand for food-a European perspective. Symposium Paper presented at the XXIV IAAE Conference, Berlin, Germany.

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION PROTEIQUE ENTRE DES SUJETS JEUNES ET AGES

S. ROUSSET[1] , M. BRANDOLINI[2], J.F. MARTIN[1], S. DROIT-VOLET[3], D. BONIN[4], P. LHOUTELLIER[4], H. SIMON[5], V. GRANDJEAN[6], Y. BOIRIE[2]

[1]INRA, Propriétés sensorielles et préférences, Theix, Saint Genès Champanelle, [2]CRNH, BP 321, 58 rue Montalembert, Clermont-Ferrand, [3]Laboratoire de Psychologie Sociale de la Cognition, UPRE-SA 6024CNRS, 34, Avenue Carnot, Clermont-Ferrand, [4]ADIV, 2, rue Chappe Clermont-Ferrand, [5]Soviba, Z.I. La Coudère Le Lion d'Angers, [6]CIV, rue Taitbout, Paris

Introduction

Aujourd'hui, en France, 15% de la population est âgée de plus de 65 ans et ce pourcentage devrait augmenter à 17,3% en 2010 et 21,6% en 2020 [1]. L'étude Seneca [2] montre que 16% des personnes âgées (70 à 75 ans) ont perdu au moins 5 kg sur une période de 5 ans. Il est connu que les personnes âgées ont moins d'appétit, ce qui peut accroître les risques de dénutrition. Cette diminution de la prise alimentaire chez les personnes âgées peut avoir plusieurs causes comme une plus faible activité physique associée à une perte de muscle et de force, d'un plus grand isolement social, d'une perte sensorielle au niveau gustatif et olfactif entraînant une diminution de l'appétit et des troubles digestifs liés au ralentissement de la vidange gastrique. Une enquête récente [3] sur la consommation de viande de bœuf révèle qu'au cours des dernières années, 25% des personnes interrogées ont diminué leur consommation de bœuf. Or cette diminution est plus marquée chez les personnes âgées de plus de 50 ans et les femmes. Certains individus vieillissants déclarent adapter leur alimentation à leur activité physique décroissante [4]. Toutefois, comme ils sont inconscients de la fonction régénératrice et reconstituante de l'alimentation, ils réduisent progressivement les quantités ingérées jusqu'à souffrir notamment de dénutrition protéique. Cependant la quantité de protéines préconisée reste au moins la même pour les personnes âgées que les personnes jeunes [5]. Ceci impliquerait donc d'accroître chez les personnes âgées le rapport protéine/énergie suite à une diminution de la prise alimentaire. De plus, souffrant davantage de maladies chroniques, les personnes âgées ont des besoins énergétiques et protéiques accrus pour lutter contre ces affections [6]. Compte tenu de l'importance de la consommation de protéines pour le maintien d'un bon état de santé des personnes vieillissantes et des modifications du comportement alimentaire, nous avons réalisé une enquête au près des personnes âgées vivant à leur domicile afin d'évaluer la répartition de leur consommation quotidienne de produits contenant des protéines et de pouvoir comparer leur consommation à celle de personnes jeunes.

Matériel et méthodes

330 sujets des 2 sexes appartenant à 2 classes d'âge (20-30 ans et 65-75 ans) ont été enquêtés sur leur consommation de produits riches en protéines pendant une semaine pour déterminer la variabilité et la répartition de leur source protéique au printemps de l'année 2000. Pour connaître la consommation de produits riches en protéines, nous avons choisi de construire un questionnaire relevant les consommations d'une liste pré-établie d'aliments. Le questionnaire comportait 6 rubriques : produits laitiers, produits carnés, poissons, œufs, plats cuisinés et féculents. Nous avons choisi d'employer un catalogue de photos en couleur, conçu à l'aide du manuel de l'étude SU.VI.MAX [7], pour estimer les quantités consommées. Ce catalogue était joint au questionnaire. Tous les sujets ont été appelés au téléphone après avoir reçu le questionnaire et avant de commencer l'enquête pour s'assurer qu'ils ne rencontraient pas de difficulté à le remplir.

Résultats

❖ **Caractéristiques de poids, d'indice de masse corporelle et d'apport protéique rapporté au poids des sujets**

La taille des hommes âgés était de 1,72 m et celle des femmes âgées de 1,60 m, en moyenne. Leur poids était de 75,6 kg et 62,5 kg pour les hommes et les femmes âgés. L'indice de masse corporelle (poids/taille²) , paramètre qui permet d'évaluer l'état nutritionnel des personnes s'élevait en moyenne à 25,7 pour les hommes et 24,3 pour les femmes. Les hommes jeunes mesuraient 1,78 m et pesaient 71,8 kg, les femmes : 1,65 m et 57,6 kg. Les sujets jeunes étaient plus grands de 5 cm que les sujets âgés. Par contre leur poids était inférieur de 3,8 kg et 4,9 kg pour les hommes et les femmes respectivement au poids des personnes âgées. L'indice de masse corporelle était égal à 22,7 et 21,1 pour les jeunes hommes et femmes. Il a augmenté d'environ 3 à 4 points au cours du vieillissant de 25 à 65 ans. Les personnes âgées souffraient plus souvent d'un excès de poids (25<IMC<30) que les personnes jeunes. En effet, 57 % des hommes âgés et 36% des femmes âgées et seulement 12% des jeunes hommes et 8% des jeunes femmes avaient un IMC>25. Par contre 12 % des jeunes femmes étaient maigres car leur indice était compris entre 17 et 18,5. Pour l'échantillon de consommateurs âgés, les consommations hebdomadaires moyennes étaient très proches de $1,2 g.j^{-1}.kg^{-1}$, ce qui indique que ces populations ont eu globalement une alimentation protéique suffisante. Toutefois, 27% des femmes âgées et 24% des hommes ont eu une consommation inférieure aux apports conseillés de$1,0\ g.kg^{-1}.j^{-1}$. Concernant les personnes jeunes, les apports étaient en moyenne supérieurs à l'apport conseillé de $0,8 g.kg^{-1}.j^{-1}$ toutefois 13% des jeunes femmes ont eu des apports inférieurs à $0,8 g.kg^{-1}.j^{-1}$.

❖ **Répartition des apports protéiques pour l'ensemble des sujets.** Les produits carnés ont été la première source d'apport protéique (35,5%), puis les féculents et les produits laitiers (25% et 23%), puis les poissons (9,5%), les plats cuisinés (4,5%) et les œufs (2,5%).

❖ **Effet âge sur la consommation protéique :** les poissons et les féculents ont été plus consommés par les âgés, et les produits carnés les plats cuisinés par les jeunes.

❖ **Interaction âge*sexe sur la consommation protéique :** on note une réduction de l'apport protéique et des produits carnés chez les hommes âgés par rapport aux jeunes, et au contraire une augmentation de l'apport protéique, des féculents et des produits laitiers chez les femmes âgées.

❖ **Effet sexe sur la consommation protéique :** l'apport protéique et la consommation de féculents, de produits carnés et laitiers ont été moindres chez les femmes que chez les hommes.

❖ **Une classification hiérarchique** montre 7 comportements alimentaires en terme de niveau d'apports protéiques, et de répartition entre la consommation de produits carnés, laitiers, poissons, œufs, féculents et plats cuisinés.

Classe 1 : 87 petits consommateurs de protéines ($0{,}9 g.k^{-1}.j^{-1}$) et de produits carnés, essentiellement représentés par des personnes du sexe féminin, jeunes et âgées (Indice de Masse Corporelle=22,5).

Classe 2 : 60 consommateurs modérés de protéines ($1{,}1 g.kg^{-1}.j^{-1}$) mais important de produits carnés, essentiellement personnes de sexe féminin, surtout jeunes (IMC=23).

Classe 3 : 52 consommateurs modérés de protéines ($1{,}2 g.kg^{-1}.j^{-1}$) mais importants de féculents, personnes des 2 sexes, jeunes et âgés, (IMC=22,9).

Classe 4 : 31 forts consommateurs de protéines ($1{,}4 g.kg^{-1}.j^{-1}$) sous forme de féculents et produits laitiers et peu sous forme de produits carnés , essentiellement des personnes âgées (IMC=24,2).

Classe 5 : 28 forts consommateurs de protéines $1{,}4 g.kg^{-1}.j^{-1}$ et de produits carnés au détriment des produits laitiers, essentiellement représentés par des personnes de sexe masculin, jeunes, (IMC=23,9).

Classe 6 : 64 forts consommateurs de protéines ($1{,}5 g.kg^{-1}.j^{-1}$) et de tous types d'aliments, essentiellement représentés par des personnes de sexe masculin, jeunes et âgés (IMC=23,8).

Classe 7 : 8 très forts consommateurs de protéines ($1{,}9 g.kg^{-1}.j^{-1}$) et de produits carnés, essentiellement représentés par des personnes de sexe masculin, jeunes (IMC=25,4).

Ainsi, des groupes de petits et gros consommateurs de protéines émergent de cette classification. Les femmes jeunes sont présentes de façon majoritaire dans les 2 1ères classes où la consommation protéique est faible, et les jeunes hommes dans les 3 dernières classes où la consommation protéique et carnée est la plus élevée. La discrimination chez les personnes âgées est moins marquée que chez les jeunes : les femmes âgées se répartissent dans les 1ères classes alors que les hommes appartiennent aux classes intermédiaires. La plus grande différence de consommation entre classes a été observée pour les produits carnés qui représentaient entre 26 et 53% de l'apport protéique total.

Conclusion

Cette étude réalisée au printemps de l'année 2000 a montré chez les personnes jeunes et âgées que la source la plus importante de protéines était représentée par les produits carnés (35 %), puis par les féculents et les produits laitiers (24 et 23 %), les poissons (10 %), les plats cuisinés (5 %) et enfin par les œufs (3%). Indépendamment du poids des sujets, la classe d'âge et le sexe ont eu une influence sur la consommation protéique. Les personnes âgées ont consommé moins de produits carnés et de plats cuisinés mais plus de féculents et de poissons que les jeunes. Les hommes ont consommé davantage de protéines que les femmes, essentiellement sous forme de produits carnés et de féculents. L'écart de consommation protéique entre homme et femme s'est estompé pour la génération âgée qui présente une variabilité moins grande de comportement alimentaire. En outre, l'étude a révélé qu'un quart des sujets âgés ne respectaient pas l'apport protéique d'$1{,}0 g.kg^{-1}.j^{-1}$. Ce travail a mis en évidence une population potentiellement à "risque" à qui il conviendrait de donner une information nutritionnelle sur l'importance et le rôle des protéines dans le maintien d'une bonne santé au cours du vieillissement.

Bibliographie

[1] Dinh Q.C. – Le vieillissement de la population sera plus important que prévu. *Economie et Statistique*, 1991, 243, 53-60.

[2] De Groot C.P.G.M., Van Staveren W.A., Dirren H., Hautvast J.G.A.J. - Summary and conclusions of the second data collection period and longitudinal analyses of the SENECA study. European Journal of Clinical Nutrition., 1996, 50, (Suppl.2), 123-124.

[3] Etude TMO citée par Orenga L. Recommandations alimentaires des médecins et consommation de viande par les seniors : mythes et réalités. In :"Alimentation des personnes âgées: approche pluridisciplinaire concernant les produits carnés. (Centre d'Information des Viandes ed.).", 1996, 5-10.

[4] Detomasi W. Une enquête sur les motivations alimentaires des personnes âgées. In :"Alimentation des personnes âgées: approche pluridisciplinaire concernant les produits carnés. (Centre d'information des Viandes ed.).", 1996, 11-16.

[5] Cynober L., Alix E., Arnaud-Battandier F., Bonnefoy M., Brocker P., Cals M.J., Coplo C., Ferry M., Ghisolfi-Marque A., Lesourd B., Mignot C., Patureau-Mirand P. - Personnes âgées. *In*: "Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3ème édition, (A. Martin ed.).", *Tec-Doc Lavoisier*, 2000.

[6] Jeandel C., Debry G. Les besoins énergétiques des personnes âgées. In :"*CERIN Symposium / Nutrition et personnes âgées,* 1997, 43-81.

[7] Su.Vi.Max. *Portions alimentaires : manuel photos pour l'estimation des quantités* (S. Hercberg, M. Deheeger et P. Preziosi, eds.), Polytechnica, Paris, 1994.

Qualités nutritionnelles des viandes

Animateurs : J. MOUROT (INRA-Rennes)
et P. PATUREAU-MIRAND (INRA-Clermont Fd)

Posters

EFFET DE L'INCORPORATION D'ACIDE LINOLEIQUE CONJUGUE DANS L'ALIMENT SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DU JAMBON DE PORC LOURD.

C. CORINO (1), G. PASTORELLI (1), A. MOUNIER (2), J. MOUROT (2)
(1) Università degli Studi di Milano, Dipartimento VSA, Via Celoria, 10 - 20133 Milan, Italie.
(2) INRA, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc 35590 St-Gilles, France.

INTRODUCTION.

Le porc a la particularité de déposer une grande partie des acides gras alimentaires dans ses tissus adipeux et dans une moindre mesure dans ses muscles (Lebret et al, 1998, 1999), il est donc possible d'utiliser cette particularité pour essayer de produire une viande ayant un apport équilibré en acides gras ω3 et ω6 ou enrichie en nutriments pouvant jouer un rôle intéressant dans la santé humaine. C'est par exemple le cas des acides gras conjugués (CLA) qui sont un mélange de différentes formes géométriques et de dienes de l'acide linoléique.
Les CLA ont des propriétés biologiques intéressantes vis à vis de la santé. Ils ont une activité antioxydante et ont une propriété anticarcinogène (Belury 1995). L'apport de CLA dans l'alimentation semble augmenter l'efficacité alimentaire chez le porc (Eggert et al., 1999) et peut diminuer l'adiposité chez le porc (Sparks et al. 1999).
Le but de ce travail est d'étudier les effets d'une supplémentation en CLA dans l'alimentation du porc lourd sur les performances de croissance, la composition corporelle et la qualité de la viande.

MATERIEL ET METHODES.

36 porcs, de 97 kg de poids vif en début d'expérience ont été répartis en 3 groupes de 12 animaux. Ils ont reçu jusqu'à 170 kg trois régimes isoénergétiques, isoprotéiques et isolipidiques différent par l'ajout de 0,5 % de matière grasse apportée par du saindoux (régime C), ou par 0,25% de saindoux et 0,25 % de CLA (régime T1) ou par 0,5 % de CLA (régime T2). Le mélange de CLA (Conlinco, Inc., Detroit Lakes, Minnesota 56502 USA) contient 65 % d'isomères de CLA (environ moitié cis 9, trans 11 et moitié trans 10, cis 12).
Les porcs sont sacrifiés à un poids moyen de 172 kg. La composition corporelle et les critères classiques de qualité sont mesurés (pH, couleur). La teneur en lipides totaux a été déterminée par la méthode de Folch et al. (1957) sur le TA sous-cutané du jambon et le muscle semi-membranosus. La composition en acides gras est réalisée par CPG après une dérivation au trifluorure de Bore selon Morrison et al. (1964). La sensibilité du muscle *longissimus dorsi* à l'oxydation est déterminée par la mesure du niveau de peroxydation à l'aide de l'acide 2-thiobarbituric (TBARS) (Monahan et al. 1992; Beuge et Aust 1978)

RESULTATS ET DISCUSSION

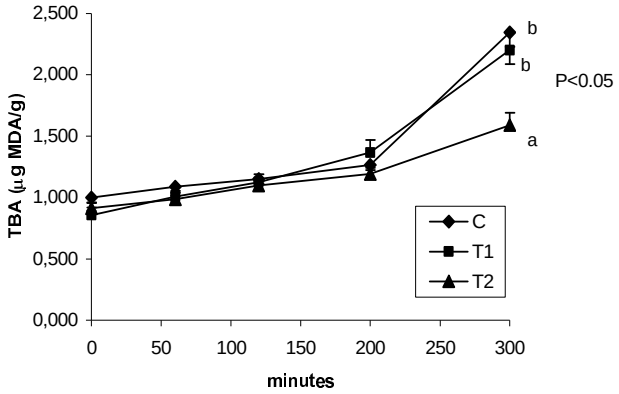
Composition corporelle et paramètres de qualité de la viande. L'apport de CLA dans l'alimentation n'a pas modifié les performances de croissance et le rendement de carcasse. Une diminution de l'épaisseur de gras à la limite de la signification est montrée au niveau de la dernière côte (3,6 cm pour C, 3,4 cm T1 et 3,2 cm T2). Cette tendance va donc dans le sens des diminutions de poids de tissus gras observées par d'autres auteurs chez le porc (Dugan et al. 1999, Bee 2001), ou le lapin (Corino et al. 2002).
Les paramètres de la qualité de la viande ne sont pas affectés par le traitement au niveau du muscle *semi-membranosus*. Ces résultats confirment des travaux antérieurs sur l'effet des CLA (Eggert et al 1999). Les variations de l'indice TBA (figure 1) montre un effet significatif en faveur des animaux recevant la dose la plus élevée de CLA, mais uniquement lorsque le temps d'oxydation est élevé.
Composition en acides gras. La teneur en lipides totaux du tissu adipeux de couverture du jambon diminue ($P<0.02$) avec l'apport de CLA dans le régime (tableau 1). L'effet est davantage marqué avec la dose la plus élevée de CLA. Ceci peut être une conséquence des modifications de l'activité des enzymes du métabolisme lipidique (PARK et al. 1997). Les CLA ingérés sont retrouvés dans les tissus adipeux, montrant une nouvelle fois l'effet de la nature des lipides sur les acides gras déposés (Lebret et Mourot 1998) et confirmant des travaux spécifiques sur le dépôt des CLA (Dugan et al. 1999; Eggert et al. 1999; Bee 2001).
Chez les porcs recevant les CLA, la teneur en AG saturés (AGS) est augmentée ($P<0.001$), celle en monoinsaturés (AGMS) est diminuée ($P<0.002$), confirmant les observations de Bee (2001). La diminution des AGMS est principalement due à la variation de l'acide oléique, les CLA pouvant induire une diminution de l'expression du gène de la stéaroyl CoA désaturase (Lee et al. 1998). Ceci expliquerait indirectement l'augmentation de la teneur en AGS qui concerne surtout le C16:0, produit terminal de la synthèse des acides gras, qui serait donc moins désaturé. La fermeté du tissu adipeux pourrait également être accrue grâce à cette augmentation des acides gras saturés, la consistance des tissus adipeux étant étroitement corrélée avec le point de fusion des graisses (Wood et al. 1978).

CONCLUSION

Les performances de croissance des porcs ont été peu modifiées par l'apport de CLA dans le régime, les modifications allant dans le sens d'une amélioration de ces performances. La masse adipeuse et la teneur en lipides totaux des tissus adipeux semblent diminuer avec l'apport de CLA alors que la teneur en lipides

intramusculaire n'est pas modifiée. La qualité de la viande n'a pas été modifiée. Les acides gras conjugués se retrouvent dans la viande, il est donc possible d'améliorer la qualité nutritionnelle de la viande. Ceci est une piste particulièrement intéressante pour la mise en place de nouveaux produits si l'on considère que les CLA ont effectivement un rôle à jouer dans la santé publique vis à vis du développement de certaines tumeurs cancéreuses, de l'obésité et peut-être des maladies cardiovasculaires.

Figure 1. Variations de l'indice TBA dans le muscle *Longissimus dorsi* en fonction du temps d'incubation à 37°C et en relation avec les régimes: 0,5% saindoux (**C**), 0,25% saindoux + 0,25% CLA (**T1**) et 0,5% CLA (**T2**).



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bee G., 2001., Anim Res. 50, 383-399.

Belury M.A., 1995. Nutr. Rev. 53, 83-89.

Beuge J.A., Aust S.D.,1978. In, Methods in Enzymology. (Fleisher L., and Packer L. Eds.). Vol. 52 pp. 302-310. Academic Press, New York, USA.

Corino C., Mourot J., Magni S., Pastorelli G., Rosi F. J Anim Sci 2002, 80, p1020-1028

Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Jeremiah L.E., Kramer J.K.G., Schaefer A.L., 1999. Can. J. Anim. Sci. 79, 45–51.

Eggert J.M., Belury M.A., Kempa-Steczko A., Schinckel A.P., 1999. J. Anim. Sci. 77, 29 (Abstr.).

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

Lebret B., Mourot J., 1998. INRA Prod. Anim. 11, 131-143.

Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. INRA Prod. Anim. 12, 11-28.

Lee K.N., Pariza M.W., Ntambi J.M., 1998. Biochem Biophys Res. Commoun. 248, 817-821

Monahan F.J., Buckley D.J., Morrissey P.A., Lynch P.B., Gray J.I.., 1992. Meat Sci. 31, 229-241.

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

Sparks J.C., Weigand B., Parrish F.C., Ewan R.C., Zimmerman D.R.., 1999. J. Anim. Sci. 77, 178 (abstr).

Wood J.P., Enser M.B., Mac Fie H.J.H., Smith W.C., Chadwick J.P., Ellis M., Laird R., 1978, Meat Sci.2, 289-296.

Tableau 1 Teneur en lipides totaux et composition en acides gras du tissu adipeux de couverture du jambon en fonction des régimes: 0,5% saindoux (**C**), 0,25% saindoux + 0,25% CLA (**T1**) et 0,5% CLA (**T2**) (les principaux AG sont rapportés).

	Régimes				
	C	**T1**	**T2**	SEM	Effets[1]
Lipides totaux %	66,17 [a]	58,33 [ab]	56,53 [b]	8,60	*T**
C16:0	24,1[a]	26,7 [b]	26,4 [b]	0,6	*T***
C18:0	13,2[a]	14,9 [b]	13,4 [b]	0,5	*T**
C18:1	44,9[a]	39,2 [b]	40,4 [b]	1,1	*T***
C18:2	12,1	11,4	11,8	0,7	*NS*
C18:3	0,55	0,49	0,53	0,04	*NS*
CLA cis 9, trans 11	0,00[a]	0,92 [b]	0,85 [b]	0,06	*T***
AGS	38,8[a]	43,7 [b]	41,8 [b]	1,1	*T***
AGMI	47,2[a]	42,1 [b]	43,6 [b]	0,8	*T****
AGPI	13,8	12,8	13,3	0,8	*NS*

AGS: acides gras saturés; AGMI acides gras monoinsaturés; AGPI, acides gras polyinsaturés. [1] T: * P<0,05 ** P<0,01 Les valeurs en ligne affectées d'une lettre identique ne sont pas différentes au seuil de 5%

L'APPORT DE GRAINE DE LIN RICHE EN ACIDE LINOLENIQUE FAVORISE LE DEPOT DE CLA PRINCIPALEMENT DANS LES TRIGLYCERIDES DU MUSCLE CHEZ LE BOUVILLON.

DOMINIQUE BAUCHART[1], ANNE DE LA TORRE[1], DENYS DURAND[1], DOMINIQUE GRUFFAT[1] et ALAIN PEYRON[2].

[1] Unité de Recherches sur les Herbivores, Equipe Nutriments et Métabolismes, INRA, Centre de Recherches de Clermont-Ferrand/ Theix, 63122 Saint Genès Champanelle et [2] ADIV, 2 rue Chappe, 63039 Clermont-Ferrand.

Introduction

Le CLA (Conjugated linoleic acid) est un terme générique désignant un mélange complexe d'isomères géométrique et de position de l'acide linoléique (C18 :2 n-6) possédant deux doubles liaisons conjuguées. Les principales sources alimentaires de CLA pour l'Homme sont les produits de ruminants (lait et dérivés, viandes). Ils sont présents à de faibles teneurs dans les huiles partiellement hydrogénées et, à l'état de trace, dans la viande de poisson et les végétaux (Chin et al, 1992). La présence de CLA dans les produits de ruminants a deux origines : 1) le rumen via des processus de biohydrogénation bactérienne des acides gras polyinsaturés provenant des fourrages et des céréales, 2) les tissus via la désaturation de l'acide trans vaccénique (produit par biohydrogénation du CLA par l'action de la Δ9 désaturase). Plus de 12 isomères ont été identifiés dans les produits de ruminants, l'acide ruménique (9c11t C18 :2) étant l'isomère prépondérant (Bauman et al, 1999).

L'intérêt porté au CLA n'a cessé d'augmenter en raison de ses propriétés biologiques remarquables pour l'Homme, en terme de prévention ou de traitement de pathologies sévères. Ainsi, ces composés sont étudiés pour leurs propriétés thérapeutiques potentielles (anticancéreux, antiathérogénique, antidiabétogénique, réducteur de la masse grasse, ...). Ces propriétés, déterminées *in vitro* sur modèle cellulaire ou *in vivo* chez l'animal ou chez l'homme, peuvent varier en intensité et en orientation selon la distribution des différents isomères. Chez le Ruminant, la composition en isomères du CLA du muscle varie avec l'âge, le sexe et la race des animaux, le type de muscle et les traitements technologiques appliqués à la viande, mais dépend surtout de la nature des lipides consommés par l'animal.

Aussi, notre étude, réalisée dans le cadre du programme européen "HealthyBeef" et en partenariat avec l'ADIV, vise à déterminer, chez le bouvillon en fin d'engraissement, les effets d'une supplémentation lipidique de la ration par de l'huile de lin riche en acide linolénique (C18:3n-3), apportée sous forme protégée ou non de la biohydrogénation ruminale, sur la teneur en CLA des fractions lipidiques majeures (triglycérides, phospholipides) des muscles *Longissimus thoracis* et *Rectus abdominis*.

Matériel et Méthodes

Animaux et prélèvements musculaires

Douze bouvillons de race Charolais x Salers (âge : 15 mois) ont reçu, pendant 70 jours, un régime classique à base de foin (43% MS) et de céréales (53% MS) (Témoin, n=4) ou le même régime supplémenté à raison de 4% MS en huile de lin apportée sous forme de graine extrudée (Graine, n=4) ou directement infusée en continu dans le duodénum afin d'éviter les processus de biohydrogénation ruminale (Huile, n=4). Les animaux ont été conduits selon la technique des blocs (1 animal/régime dans chaque bloc), mettant en oeuvre 4 blocs conduits successivement dans le temps. Le jour de l'abattage (abattoir expérimental du Centre de Theix), les muscles *Longissimus thoracis* (LT, entrecôte) et *Rectus abdominis* (RA, bavette de Flanchet) ont été prélevés et découpés en petits morceaux, puis congelés à -20°C jusqu'à l'analyse chimique de leurs lipides.

Analyses lipidiques

La teneur en lipides totaux des muscles a été déterminée gravimétriquement, après extraction spécifique des lipides totaux par broyage de 5g de tissu frais en présence du mélange chloroforme/méthanol (2/1, vol/vol) selon la méthode décrite par Folch et al, (1957). Les teneurs en triglycérides (TG) et en phospholipides (PL) ont été déterminées selon les méthodes enzymatiques décrites par Leplaix-Charlat et al, (1996) à partir de la fraction lipides totaux. Les acides gras (AG) contenant les isomères du CLA ont été préparés sous forme d'esters méthyliques par transméthylation des acides gras des fractions TG et PL par le trifluorure de bore à 14% dans le méthanol, selon la méthode décrite par Sébédio et al, (1999). Les teneurs en AG totaux et en CLA ont été déterminées par analyse CPG des esters méthyliques d'AG en présence de C19:0 comme standard interne sur colonne capillaire CP Sil 88 (longueur: 100m long, Øi: 0,25mm, balayée par H_2) en programmation de température.

Analyses statistiques

Les résultats sont exprimés en moyenne ± SEM. Les effets des blocs, des traitements alimentaires et de la nature des muscles sur la composition en lipides, en TG et PL, et en CLA ont été analysés selon la procédure GLM de SAS.

Résultats – Discussion

Les supplémentations en huile de lin élèvent, dans le muscle RA, la teneur en lipides (graine: +25%; huile: +36%) et en AG totaux (graine: +24%; huile: +53%), qui résultent uniquement de l'augmentation de la teneur en TG (graine: +35%; huile: +58%), les effets étant significatifs seulement avec le régime huile (Tableau 1). Les mêmes variations sont observées pour le muscle LT, mais de façon non significative. L'effet bloc, et à un degré moindre, les effets traitement et tissu sont, pour les deux muscles confondus, significatifs à très significatifs.

		Lipides totaux (% frais)	AG totaux (% frais)	PL (% frais)	TG (% frais)
RA	Témoin	29.2[a]	16.9[a]	6.4	15.6[a]
	Graine	36.4[ab]	20.9[ab]	6.2	21.0[ab]
	Huile	39.7[b]	25.8[b]	6.3	24.7[b]
	sem	*6.9*	*5.5*	*5.2*	*5*
LT	Témoin	22.6	12.8	6.6	10.1
	Graine	28.8	15.9	6.3	15.2
	Huile	30.1	19.2	6.5	16.5
	sem	*5.3*	*4.0*	*0.3*	*3.7*
Effets	Bloc	0.0023	0.001	0.0001	0.007
	Traitement	0.05	0.03	NS	0.03
	Tissu	0.01	0.02	NS	0.01
	Trait. x Tissu	NS	NS	NS	NS

Tableau 1: Teneurs (% tissu frais) en lipides et AG totaux et en phospholipides (PL) et triglycérides (TG) des muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Rectus abdominis* (RA) chez le bouvillon recevant le régime témoin (n=4) ou le même régime supplémenté en graines de lin (graine, n=4) ou en huile de lin infusée dans le duodénum (huile, n=4). Les lettres différentes indiquent une différence significative (P<0,05) entre les traitements.

Le CLA se dépose dans le muscle RA essentiellement dans la fraction TG (95%). La supplémentation en graine de lin élève très fortement la teneur en CLA dans les lipides totaux (x2,2), cette augmentation étant en intensité comparable dans les TG (x2,2) et les PL (x2,4) (P <0,05) (Tableau 2). De façon surprenante, le traitement huile entraîne également une augmentation de la teneur en CLA dans les lipides (x1,3, NS) et les TG (x1,3, P <0,05). Les mêmes tendances sont observées avec le muscle LT mais les différences sont significatives uniquement avec le traitement graine (Tableau 2).

		CLA totaux (mg/100g frais)	CLA (TG) (mg/100g frais)	CLA (PL) (mg/100g frais)	CLA (TG/PL)
RA	Témoin	9.6[a]	9.1[a]	0.55[a]	16.2[a]
	Graine	21.4[b]	20.0[b]	1.31[b]	17.5[a]
	Huile	12.2[a]	11.9[c]	0.31[a]	37.0[b]
	sem	*4.8*	*4*	*0.34*	*8.9*
LT	Témoin	5.4[a]	4.5[a]	0.90[a]	4.9
	Graine	11.6[b]	9.9[b]	1.63[b]	6.7
	Huile	8.3[ab]	7.6[ab]	0.73[a]	10.7
	sem	*2.7*	*2.6*	*0.31*	*3.0*
Effets	Bloc	0.001	0.001	NS	0.0005
	Traitement	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001
	Tissu	0.0003	0.0002	0.003	0.0001
	Trait. x Tissu	NS	NS	NS	0.002

Tableau 2: Teneurs (mg/100g tissu frais) en CLA totaux et en CLA dans les TG et PL des muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Rectus abdominis* (RA) chez le bouvillon recevant le régime témoin (n=4) ou le même régime supplémenté en graines de lin (graine, n=4) ou en huile de lin infusée dans le duodénum (huile, n=4). Les lettres différentes indiquent une différence significative (P<0,05) entre les traitements .

En conclusion, nos résultats confirment que la supplémentation des rations en AGPI n-3 (lin) stimule très fortement la synthèse et le dépôt musculaire de CLA chez le bovin à viande en fin d'engraissement. Ils montrent de façon nouvelle que les CLA se déposent principalement dans la fraction grasse (TG) du muscle qui correspond au tissu adipeux intramusculaire. Les questions à résoudre portent sur le rôle précis de ce tissu en terme de biosynthèse *de novo* de CLA (comme déjà démontré dans la mamelle), et de valider les résultats acquis sur bouvillon à viande sur d'autres types de production, notamment les vaches de réforme allaitante ou laitière. Enfin, compte tenu des variations de la distribution des différents isomères de CLA dans la viande observées en fonction des types d'animaux et de muscles ainsi que des conditions d'alimentation, il serait important de préciser les propriétés biologiques des mélanges les plus extrêmes de CLA pour l'Homme, notamment leurs capacités anticancéreuses. Le développement d'un tel programme est en cours dans notre équipe en partenariat avec l'ADIV (Clermont-Fd), l'INSERM U 484 (Clermont-Fd) et le département NASA de l'INRA (UNL Dijon).

Références

Chin S.F., Storkson J.M., Ha Y.L. Pariza M.W. (1992) J. Food Comp. Anal. 5, 188-197.
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H.S. (1957). J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Leplaix-Charlat L., Durand D., Bauchart D. (1996) J. Dairy Sci., 79, 1826-1835.
Sébédio J-L, Alasnier C., Grégoire S., Leclère L. (1999) Méthodes de laboratoire, fascicule M/lab /012/ 5 pages.

INFLUENCE DE LA SUPPLEMENTATION DE LA RATION EN HUILES VEGETALES RICHES EN ACIDES GRAS POLYINSATURES SUR LA LIPOPEROXYDATION PLASMATIQUE ET MUSCULAIRE CHEZ LE BOUVILLON EN FINITION

D. DURAND, D. GRUFFAT-MOUTY, V. SCISLOWSKI et D. BAUCHART,
Unité de Recherches sur les Herbivores, Centre de Recherches de Clermont-Ferrand/Theix
63122 St Genès-Champanelle

Introduction

Les relations entre alimentation et santé sont de plus en plus au centre des préoccupations des consommateurs avec pour conséquences un impact considérable sur les volumes de vente. Aussi, depuis plusieurs années, des études sont entreprises pour améliorer la valeur nutritionnelle de la viande bovine qui souffre d'une image négative, liée notamment à sa composition lipidique peu favorable à la santé de l'Homme. Ainsi, il apparaît souhaitable d'enrichir la viande en acides gras polyinsaturés (AGPI) connus pour leurs effets bénéfiques dans la prévention des maladies cardiovasculaires au détriment des acides gras saturés et monoinsaturés trans, pro-athérogènes pour l'Homme.

Il est également bien admis par la filière que toute intervention nutritionnelle doit privilégier des formes d'apport "naturelles" respectant le bien-être des animaux notamment leur santé. Ainsi, l'herbe permettrait d'enrichir la viande en AGPI (Bauchart et al., 2001) et à ce titre a été à la base de nombreuses études. Cependant cette source d'AGPI ne convient pas à tous les types de production (finition à l'auge,…) et n'est pas disponible en quantité suffisante durant toute la saison et dans toutes les zones de production. Aussi d'autres sources ont été envisagées notamment les huiles végétales apportées dans les rations à différent niveaux et sous différentes formes (graine entière, broyée ou extrudée, huile libre ou protégée) (Clinquart et al., 1995).

Ces supplémentations nutritionnelles entraînent un afflux très important d'AGPI au niveau de l'organisme animal (plasma et tissus) pouvant conduire à une sensibilité accrue des lipides aux processus de peroxydation et affecter ainsi la santé de l'animal et la qualité des produits. Nous avons donc testé l'impact de supplémentations en huile de tournesol (riche en AGPI de type n-6) ou de lin (riche en AGPI de type n-3) distribuées soit sous forme de graine (soumises aux biohydrogénations ruminales) soit sous forme d'huile directement infusée dans le duodénum (évitant les biohydrogénations ruminales) sur les processus de lipoperoxydation au niveau plasmatique et au niveau de deux muscles caractéristiques, le *Rectus abdominis* (RA) à tendance métabolique oxydo-glycolytique et le *Longissimus thoracis* (LT) à tendance glycolytique.

Matériels et méthodes

Trente bouvillons Charolais x Salers, âgés de 15 mois et pesant en moyenne 450 kg, ont été répartis en 5 lots recevant pendant 70 jours 1) un régime témoin (T, n=10) à base de foin de prairie naturelle et d'aliment concentré et d'un CMV, 2) le même régime témoin supplémenté en huile de tournesol (4 % de la MS) apporté sous forme de graine (lot GT, n=6) ou sous forme d'huile infusée dans le duodenum (HT, n=6), 3) le même régime témoin supplémenté en huile de lin (4 % de la MS) apportée sous forme de graine (lot GL, n=4) ou sous forme d'huile infusée dans le duodénum (HL, n=4). Ces différents régimes étaient isoénergétiques et isoazotés et étaient distribués pour assurer un GMQ d'environ 1000 g/j.

Au niveau plasmatique, nous avons déterminé 1) le niveau de peroxydation des lipides en situation de stress oxydatif (induit par ajout de sel de cuivre) par la mesure de leur capacité à résister à la peroxydation (durée de résistance ou Lag Phase, en minutes) et par la mesure de la quantité maximale de diènes conjugués produits (DC max ; en UA) 2) le statut en antioxydant du plasma par la mesure de la teneur en vitamine E (en µg/mL) et du potentiel antioxydant (PAO ; en mmol/L) par le test Randox.

Au niveau musculaire, nous avons déterminé la teneur en lipides totaux (lipides tot.) par gravimétrie et en AGPI par CPG selon la méthode décrite par Bauchart et al. (2001) ainsi que le niveau de peroxydation des lipides 1) au moment de l'abattage par la mesure de malondialdéhyde (TBARS; en nmol/g de tissus) 2) en situation de stress oxydatif (induit par la durée d'incubation et la température) par la mesure de la Lag Phase et de la DC max.

Les résultats sont exprimés en moyenne (± Erreur Standard) par lot. Les données ont été analysées par la procédure GLM sous SAS. Les moyennes ont été comparées par la méthode des contrastes orthogonaux testant l'effet de la supplémentation en lipides par rapport au lot témoin (témoin vs lipides), l'effet de la forme d'apport (graine vs huile), et l'effet de la nature de la supplémentation (AGPI n-6 vs AGPI n-3).

Résultats et discussion

Par rapport à la ration témoin, le potentiel antioxydant plasmatique n'est pas significativement affecté par la supplémentation en lipides (Tableau 1), alors qu'il apparaît un effet très marqué sur le niveau de vitamine E (+ 106 % en moyenne). Ces résultats montrent que les supplémentations en lipides à partir de graines oléagineuses comme le lin et le tournesol permettent de maintenir un potentiel antioxydant satisfaisant malgré l'apport d'AGPI par la ration. Par contre, la production accrue de diènes conjugués (+25 à + 180%) obtenue avec les régimes "lipides" montrent, qu'en cas de stress oxydant, les capacités de défense de l'organisme seraient

largement dépassées, la toxicité des espèces radicalaires et des aldéhydes générées lors de ces processus pouvant être très défavorables à la santé des animaux.

		PAO (mmol/L)	Vitamine E (µg/mL)	Lag phase (min)	DC max (UA)
Témoin (n = 10)		1.22 ± 0.06	2.00 ± 0.14	19.0 ± 3.7	167 ± 14
Graine Tournesol (n = 6)		1.09 ± 0.04	4.91 ± 0.39	13.0 ± 1.4	208 ± 3
Huile Tournesol (n = 6)		1.11 ± 0.06	4.17 ± 0.46	11.7 ± 0.8	376 ± 32
Graine Lin (n = 4)		1.34 ± 0.06	3.26 ± 0.24	19.8 ± 2.4	253 ± 35
Huile Lin (n = 4)		1.42 ± 0.04	4.18 ± 0.77	12.6 ± 1.4	470 ± 9
Effets	Témoin *vs* Lipides	NS	0.0001	0.02	0.0001
	Graine *vs* Huile	NS	NS	NS	0.0001
	n-6 *vs* n-3	0.0004	0.06	NS	0.004

Tableau 1 : Impact de différentes supplémentations en lipides sur la lipoperoxydation et le potentiel antioxydant du plasma des bouvillons .

Les niveaux de lipoperoxydation du muscle RA (Tableau 2) à l'abattage (avec les régimes graine et huile) ou après application d'un stress oxydatif (avec le régimes huile) sont augmentés et ceci indifféremment de leur contenu en AGPI (n-6 ou n-3). Ces niveaux de peroxydation sont fortement corrélés à la teneur en d'AGPI (hautement oxydables) du RA.

		TBARS (nmol/g)	Lag phase (min)	DC max (UA)	AGPI/lipides tot. (‰)
Témoin (n = 10)		37.3 ± 3.7	95.4 ± 7.9	0.79 ± 0.09	59.2 ± 5.3
Graine Tournesol (n = 6)		52.5 ± 4.7	97.4 ± 9.7	0.56 ± 0.10	91.3 ± 13.1
Huile Tournesol (n = 6)		52.3 ± 6.7	103.4 ± 13.9	1.09 ± 0.13	94.5 ± 10.7
Graine Lin (n = 4)		45.0 ± 4.8	95.7 ± 9.1	0.78 ± 0.15	60.6 ± 11.2
Huile Lin (n = 4)		73.4 ± 7.4	105.1 ± 20.2	1.05 ± 0.17	120.5 ± 10.1
Effets	Témoin *vs* Lipides	0.0007	NS	NS	0.003
	Graine *vs* Huile	0.02	NS	0.004	0.007
	n-6 *vs* n-3	NS	NS	NS	NS

Tableau 2 : Impact de différentes supplémentations en lipides sur la teneur en AGPI et la lipoperoxydation du muscle *Rectus abdominis* .

Comme pour le muscle RA, l'apport en AGPI favorise la lipoperoxydation dans le muscle LT (Tableau 3) mais principalement avec l'apport d'huile, seule forme augmentant significativement la teneur en AGPI. On aurait pu s'attendre à des effets moins marqués dans le LT qui est un muscle à tendance plus glycolytique que le RA donc théoriquement moins sensible aux supplémentations lipidiques (Durand et al., 2001).

		TBARS (nmol/g)	Lag phase (min)	DC max (UA)	AGPI/lipides tot. (‰)
Témoin (n = 10)		47.8 ± 14.2	86.6 ± 15.0	0.52 ± 0.06	63.7 ± 18.8
Graine Tournesol (n = 6)		57.4 ± 4.6	88.2 ± 11.9	0.48 ± 0.09	56.8 ± 3.9
Huile Tournesol (n = 6)		55.3 ± 5.0	106.6 ± 7.4	0.94 ± 0.11	106.1 ± 5.9
Graine Lin (n = 4)		46.2 ± 5.6	97.6 ± 10.8	0.65 ± 0.09	60.3 ± 5.5
Huile Lin (n = 4)		73.1 ± 7.2	124.1 ± 7.1	0.93 ± 0.10	113.7 ± 4.0
Effets	Témoin *vs* Lipides	NS	0.05	0.01	0.003
	Graine *vs* Huile	0.05	0.02	0.001	0.0001
	n-6 *vs* n-3	NS	NS	NS	NS

Tableau 3 : Impact de différentes supplémentations en lipides sur la teneur en AGPI et la lipoperoxydation du muscle *Longissimus thoracis*

Conclusion

Chez le Ruminant, les supplémentations en lipides riches en AGPI (principalement sous forme protégée et de type n-3) peuvent avoir des répercutions négatives sur leur santé mais également sur la qualité des produits notamment chez des animaux soumis à des stress oxydants (restriction alimentaire, extensif en plein air, abattage, transport,…). Ces situations nécessitent donc une supplémentation appropriée en antioxydants qu'il sera bon de préciser par des travaux complémentaires.

Références bibliographiques

Clinquart A., Micol D., Brundseaux C., Dufrasne I,. Istasse L.,1995. INRA Prod. Anim., 8(1), 29-42.
Bauchart D., Durand D., Mouty D., Dozias D., Ortigues-Marty I., Micol D., .2001. Journées 3R, Comm 141.
Durand D., Gruffat-Mouty D., Hocquette J.F., Micol D., Dubroeucq H., Jailler S., Jadhao S.B., Scislowski V., Bauchart D., 2001 . Journées 3R, 175-178.

INFLUENCE D'UNE ALIMENTATION A BASE D'HERBE SUR LA LIPOPEROXYDATION ET LE POTENTIEL ANTIOXYDANT DANS LE PLASMA ET LES MUSCLES DE BŒUFS EN FINITION

D. GRUFFAT - MOUTY, D. DURAND, D. MICOL, I. ORTIGUES-MARTY et D. BAUCHART,
INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Centre de recherches de Clermont-Ferrand/Theix,
63122 St Genès Champanelle.

Introduction

Les consommateurs ont une image très favorable de la qualité de la viande produite à partir d'animaux élevés à l'herbe. Dans une région comme le Massif Central où l'élevage de bovins et les ressources en herbe pâturée occupe une place socio-économique importante, il est nécessaire de mieux caractériser la viande produite "à l'herbe". Or, à ce jour, très peu d'éléments objectifs existent quant à l'influence de l'élevage à l'herbe sur les caractéristiques des tissus bovins et donc sur la qualité des carcasses et surtout des viandes produites. Cependant, les connaissances actuelles laissent penser que les muscles "d'animaux élevés à l'herbe" pourraient se distinguer de ceux d'animaux produits "à l'auge" car ces modes de production diffèrent par le plan d'alimentation des animaux et par la nature des produits terminaux de la digestion des rations. De plus, le niveau d'activité des animaux au pâturage peut interférer avec la nature de l'alimentation elle-même (herbe pâturée vs. herbe à l'auge).

L'alimentation à base d'herbe est connue pour entraîner une augmentation des teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPI) de type n-3 dans les tissus notamment musculaires (Bauchart et al., 2001) et donc dans la viande qui sont connus pour être favorables à la santé humaine (Wood et al., 1997). Toutefois, ces AGPI sont sensibles à la peroxydation (attaque radicalaire) conduisant à la formation de lipides « modifiés » de type dienes conjugués (DC) se décomposant par la suite en aldéhydes (malondialdéhyde). Cela entraîne l'accumulation dans le sang puis dans la viande de composés antinutritionnels délétères pour la santé des animaux voire celle du consommateur et modifie la flaveur de la viande. Cette peroxydation des AG *in vivo* est représentative d'une balance entre les teneurs en AGPI et en antioxydants de l'organisme. Il est donc important de pouvoir caractériser le degré de peroxydation des AG en relation avec les teneurs en antioxydants de l'organisme dans des conditions (telles que l'alimentation à l'herbe) connues pour augmenter les teneurs en AGPI tissulaires.

Matériel et méthodes

Dix huit bœufs Charolais ont été suivis expérimentalement de l'âge de 9 mois à 30-32 mois. Ces animaux ont été répartis en un lot recevant de l'ensilage de maïs à l'auge pendant toute la période expérimentale (MA, n = 6) et un lot recevant de l'ensilage d'herbe à l'auge pendant la période hivernale puis alimenté au pâturage tournant de ray grass pendant la période estivale (HP, n = 12). En période de finition, le lot HP a été divisé en 2 lots : un lot de 6 animaux a continué d'être alimenté avec de l'herbe au pâturage (HP) et un lot de 6 animaux a été alimenté à l'auge à partir d'herbe coupée et affouragée (HA). Les animaux ont été conduits de façon à réaliser la même vitesse de croissance durant la phase de finition. Le lot HP étant la référence, la croissance des deux autres lots a été ajustée par le biais du niveau d'alimentation à l'auge. Les animaux des 3 lots ont été abattus au même âge et à même poids vif (762-785 kg).

Le niveau de potentiel antioxydant (PAO, déterminé par le test Randox) et le degré de peroxydation des lipides ont été mesurés dans le plasma et les muscles *Rectus Abdominis* (RA, tendance oxydative) et *Semi Tendinosus* (ST, tendance plus glycolytique) prélevés à l'abattage (Mouty et al., 2001). Le degré de peroxydation des lipides a été estimé par la mesure de la production de dienes conjugués (DC) et de malondialdéhyde (TBARS). La cinétique de production des DC (réalisée à 37°C) est représentative de la peroxydation des lipides en condition de stress. Elle permet de déterminer au cours d'une 1ère phase la durée de résistance qui est le reflet de la capacité des lipides à résister à l'oxydation et donc du potentiel antioxydant, et au cours d'une 2ème phase la quantité maximale de DC produits et donc la susceptibilité des AG aux stress oxydants. Le dosage des TBARS permet de déterminer le contenu en lipides oxydés dans un tissu immédiatement après abattage des animaux.

Résultats - Discussion

Au niveau plasmatique, le potentiel antioxydant (Figure 1A) la durée de résistance des AG à la peroxydation (Figure 1B) ne varient pas avec les différents régimes malgré une augmentation probable des AGPI plasmatiques avec le régime HP comme l'ont montré Bauchart et al. (2001). Ces résultats pourraient s'expliquer par une augmentation des teneurs en antioxydants avec ce régime (probablement en vitamine E apportée par l'herbe) qui seraient utilisés de façon importante pour combattre la peroxydation des AGPI maintenant ainsi un potentiel antioxydant proche de celui observé avec le régime MA. D'autre part, le régime HP entraîne une augmentation significative d'environ +40% ($P<0,01$) de la production de dienes conjugués représentatifs de la lipoperoxydation en condition de « stress » (Figure 1C) par rapport aux 2 autres régimes, en accord avec Mouty et al. (2001). En effet, dans le cas d'un stress oxydant, l'augmentation des teneurs plasmatiques en AGPI pourrait entraîner une production importante de produits oxydés préjudiciables aux performances et à la santé des animaux, le potentiel en antioxydants apportés par l'herbe n'étant plus suffisant pour permettre aux AG de résister à ces situations extrêmes. L'augmentation de la lipoperoxydation mise en évidence avec le régime HP ne s'observe pas avec le régime HA. Ceci pourrait s'expliquer par une perte d'AG (dont les AGPI) dans l'herbe

après fauchage puis distribuée ultérieurement à l'auge, comme précédemment décrit au cours de la conservation de l'herbe (Bauchart et al., 1985).

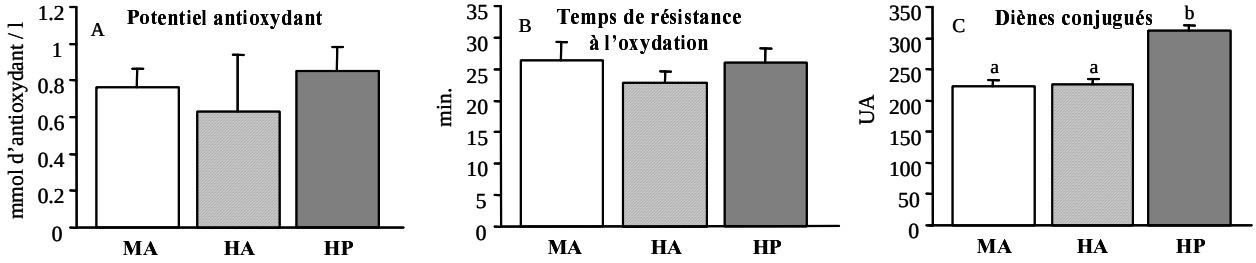


Figure 1 : Potentiel antioxydant (A), temps de résistance à la peroxydation des lipides (B) et degré de peroxydation des lipides sous forme de diènes conjugués (C) du plasma des bœufs recevant un régime à base d'ensilage de maïs (MA, n=6), d'herbe à l'auge (HA, n=6) ou d'herbe pâturée (HP, n=6). a, b : P<0,01.

Au niveau musculaire (Tableau 1), la teneur en lipides totaux est significativement plus élevée (+42%, P<0,001) dans le RA par rapport au ST en liaison avec son métabolisme plus oxydatif mais n'est pas modifiée par le type de régime. Le potentiel antioxydant est significativement plus élevé (+40%, P<0,05) dans le RA des animaux du lot MA que des lots HA et HP. La même tendance est observée pour le ST mais de façon non significative. Cette baisse du potentiel antioxydant observée avec les régimes HP et HA par rapport au régime MA pourrait être liée à une mobilisation importante des antioxydants pour combattre la lipoperoxydation due à l'augmentation des AGPI dans ces tissus (Bauchart et al., 2001).

La formation de DC, représentative de la peroxydation des AG en condition de « stress », est plus élevée dans le RA que le ST liée à sa teneur plus importante en lipides, mais reste inchangée quel que soit le régime comme précédemment montré (Mouty et al., 2001). Par contre, la teneur en TBARS, représentative du contenu en lipides oxydés dans les muscles à l'abattage des animaux reste inchangée quel que soit le régime dans le RA mais est légèrement plus élevée (+20%, P<0,05) dans le ST des animaux du lot HA par rapport aux 2 autres régimes. L'absence de réponse du RA par rapport au ST est difficilement interprétable étant donné son métabolisme à tendance plus oxydative. D'autre part, la teneur en TBARS plus élevée dans le ST des animaux du lot HA pourrait s'expliquer par une dégradation plus rapide des antioxydants (type vitamine E) par rapport aux produits oxydables (AGPI) lors du stockage de l'herbe à l'auge.

	RA			ST			Effet Tis.	Effet Rég.	Tis x Rég.
	MA	HA	HP	MA	HA	HP			
LT (mg / g)	23,4 ± 4,7	21,7 ± 2,2	26,6 ± 3,6	16,9 ± 2,6	17,6 ± 3,4	16,0 ± 2,3	0,001	NS	NS
PAO (µmol / g)	6,81 ± 0,54^{a}	3,66 ± 0,24^{b}	4,72 ± 0,20^{b}	6,74 ± 0,83	5,51 ± 0,46	5,42 ± 0,94	0,05	0,006	NS
DC (µmol / g)	1,27 ± 0,20	1,23 ± 0,13	1,35 ± 0,22	0,97 ± 0,16	0,87 ± 0,28	0,91 ± 0,11	0,009	NS	NS
TBARS (nmol / g)	50,5 ± 9,5	49,9 ± 6,4	51,2 ± 7,4	59,8 ± 8,0^{a}	69,6 ± 4,4^{b}	55,7 ± 9,4^{a}	0,02	NS	NS

Tableau 1 : Teneur en lipides totaux (LT), potentiel antioxydant (PAO) et degré de peroxydation des lipides sous forme de diènes conjugués (DC) et de substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) dans les muscles *Rectus Abdominis* (RA) et *Semi Tendinosus* (ST) des bœufs recevant un régime à base d'ensilage de maïs (MA, n=6), d'herbe à l'auge (HA, n=6) ou d'herbe pâturée (HP, n=6). a, b : P < 0,05.

Conclusions

En conclusion, une alimentation à base d'herbe pâturée (contrairement à l'herbe à l'auge) améliorerait les qualités diététique et organoleptique de la viande puisse qu'elle est connue pour entraîner une augmentation des teneurs en AGPI n-3 favorable à la santé humaine dans les tissus (Bauchart et al., 2001) sans entraîner l'induction de processus défavorables de lipoperoxydation dans ces mêmes tissus. En revanche, ce type de régime, en augmentant la lipoperoxydation dans le plasma pourrait être préjudiciable à la santé des animaux en les rendant plus sensibles à des situations de stress liées aux conditions d'élevage.

Références bibliographiques

Bauchart, D., Doreau, M., Legay-Carmier, F., 1985. Bull. Tech. CRZV Theix INRA, 61, 65-77
Bauchart, D., Durand, D., Mouty, D., Dozias, D., Ortigues-Marty, I., Micol, D., 2001. Comm. 41, Journées 3R, Paris.
Mouty, D., Durand, D., Dozias, D., Micol, D., Ortigues-Marty, I., Bauchart, D., 2001. Comm. 40, Journées 3R, Paris.
Wood, J.D., Enser, M., 1997. Brit. J. Nutr., 78, S46-S60.

EFFET DU MODE D'ENGRAISSEMENT (PLEIN AIR *VERSUS* BATIMENT) SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES LIPIDES INTRAMUSCULAIRES DE LA VIANDE DE PORCS. INFLUENCE DE LA METHODE D'ANALYSE.

WAVREILLE J.[(1)], DEHARENG F. [(2)], SINDIC M. [(3a)], LOGNAY G. [(3b)], , BARTIAUX-THILL N. [(1)]

(1) Centre de Recherches agronomiques de Gembloux, Département Productions et Nutrition animales. Rue de Liroux,8 à B-5030 Gembloux.

(2) Université catholique de Louvain, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, Unité de génétique. Place Croix du Sud, 2 (bte 14) à B-1348 Louvain-la-Neuve.

(3) Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés,2 à B-5030 Gembloux. (3a) Unité de Technologie des Industries agro-alimentaires. (3b) Unité de Chimie générale et organique.

Introduction

Dans une étude sur le porc en plein air (Wavreille et *al.* 2002), aucun effet significatif du mode d'engraissement en plein air *versus* porcherie n'a été mis en évidence sur la proportion en acides gras polyinsaturés du *Longissimus dorsi.* Ces résultats ne rejoignent pas ceux de Nilzén et *al.* (2001) et Högberg et *al.* (2001) qui concluaient que la proportion en acides gras polyinsaturés significativement plus élevée dans le muscle *Biceps femoris* des porcs engraissés en plein air comparativement à des porcs engraissés en porcherie classique est attribuée à l'herbe que les porcs ingèrent quotidiennement. De même, Lebret et *al.* (2002) ont montré que le pâturage des truies en plein air conduit à une forte augmentation des teneurs en acides gras n-3, en particulier le C18:3 (n-3), dans le muscle *Longissimus*, conduisant à une réduction importante du rapport n-6/n-3 (-40%, p=0.06).

Justifier une qualité nutritionnelle supérieure, en garantissant un apport proportionnellement plus important en acides gras jugés bons pour la santé, constitue une forme de différentiation, en terme de qualité, qui permettrait d'exploiter une segmentation du marché de la viande. La production de porcs en plein air connaît un certain développement en Wallonie. Nos résultats quelque peu contradictoires nous ont conduit à réaliser une seconde analyse de la composition en acides gras des lipides intramusculaires, sur base d'une méthode d'analyse physico-chimique plus fine.

Matériel et Méthode

Quarante huit porcs de 2 types génétiques, ¼ Landrace français - ¼ Duroc - ½ Piétrain (¼DU) et ¼ Landrace français - ¼ Large White français - ½ Piétrain (¼LW), sont engraissés, de juillet à octobre, en lots de sexes séparés, mâles castrés et femelles, selon 2 modes d'engraissement, plein air (parcours herbeux de 150 m² par porc, en libre accès permanent) et porcherie classique (litière paillée évacuée quotidiennement). Les porcs sont nourris *ad libitum* avec le même aliment. Ils sont abattus à un poids vif plein similaire de 111 kg.

Un échantillon de *Longissimus dorsi* (une tranche de 4 cm d'épaisseur) est prélevé le surlendemain pour être découpé en cubes d'un cm de côté qui, congelés quelques minutes à l'azote liquide, sont placés dans un broyeur IKA M20 jusqu'à l'obtention d'une poudre de viande conservée en flacons à – 80°C. La détermination ultérieure de la composition en acides gras intramusculaires est réalisée selon deux méthodes. Dans un premier temps, selon une analyse en trois étapes (méthode A) :

- extraction des lipides du muscle selon la technique inspirée de celle décrite par Folch *et al.* (1957),
- préparation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG), méthode au Méthanol-BF_3,
- séparation des EMAG par un système de chromatographie en phase gazeuse (colonne FFAP-58CB Chrompack 30 m × 0.25 mm. df = 0.2 µm, gaz vecteur hélium à 1.3 ml/minute, programme de température : 50 à 150°C à 30°C/minute et 150 à 230°C à 5°C/minute, détecteur FID à 250°C, injecteur «Cool-on-column», appareil Hewlett Packard HP 6890) couplé à un spectromètre de masse (GC MS, Chromatographe Hewlett Packard 5890 Séries II couplé à un spectromètre de masse HP 5989 travaillant en mode Impact Electronique 70 eV; gamme de masse : 35 à 600 amu, température de la source 200°C., injecteur «Split – Splitless», mode «Splitless» à 250°C). L'identification des acides gras se base sur l'analyse des temps de rétention et sur la comparaison des spectres obtenus par rapport à ceux d'une bibliothèque spectrale informatisée (Wiley 275.L).

Dans un second temps, selon une analyse en quatre étapes :

- extraction des lipides du muscle selon la technique inspirée de celle décrite par Folch et al. (1957),
- saponification : solution fraîche de KOH à 10 % dans du Norvanol (90%(V/V) éthanol ; 2,9%(V/V) ; 9% (m/V) H2O,
- méthylation à l'HCl 3 % dans du méthanol à ébullition,
- analyse des acides gras par un système de chromatographie en phase gazeuse (THERMO QUEST modèle TRACE GC 2000 SERIE, injecteur de type «Cool-on-column», détecteur à ionisation de flamme FID, colonne capillaire de 100 m x 0.25 mm de type Chrompack CP Sil 88 avec film intérieur de 0,02 µm, gaz porteur hydrogène à un débit constant de 1,1 ml/minute, détecteur hydrogène 35 ml/minute et air 350 ml/minute, température : 250 °C., programme du four avec chauffage jusque 175 °C à un taux de 13 °C/minute, premier palier pendant 27 minutes, chauffage jusque 215 °C à un taux de 4 °C/minute, second palier pendant 30 minutes) et identification sur base de l'analyse des temps de rétention (par comparaison avec ceux obtenus pour des acides gras étalons de solutions standards préalablement déterminés).

L'effet du mode d'engraissement, du type génétique et du sexe est étudié, pour chacune des deux méthodes à l'aide du logiciel Minitab, par analyse de la variance à trois critères de classification, modèle croisé à trois facteurs fixes (mode d'engraissement, type génétique, sexe) comportant chacun deux niveaux.

La composition en acides gras intramusculaires du *Longissimus dorsi,* en pour cent des constituants élués, pour la méthode A, ou en pour cent des acides gras déterminés totaux, pour la méthode B, est présentée dans le tableau 1, ci-après, pour chacune des deux méthodes d'analyse, en fonction du mode de conduite : plein air *versus* porcherie.

Tableau 1: Composition en acides gras intramusculaires (*Longissimus dorsi*)

	Méthode A			Méthode B		
	Mode de conduite		Effets	Mode de conduite		Effets
	Plein air (n=24)	Porcherie (n=24)		Plein air (n=24)	Porcherie (n=24)	
C14:0 - Myristique	1,12 ± 0,27	1,07 ± 0,34	S**, CxG*	2,28 ± 1,07	2,34 ± 1,03	
C14:1 - Myristoléique	/	/	/	0,87 ± 0,18	0,74 ± 0,23	C*,G**
C16:0 - Palmitique	23,89 ± 0,93	23,95 ± 1,15	G*	25,32 ± 1,55	25,73 ± 1,39	G**,S*
C16:1(n-7) - Palmitoléique	4,03 ± 0,47	3,59 ± 0,84	C*, S*	4,18 ± 0,37	3,95 ± 0,45	
C18:0 - Stéarique	11,00 ± 0,72	11,62 ± 1,01	C*, S*	11,07 ± 0,82	11,82 ± 0,70	C**,CxG*
C18:1(n-9) - Oléique	36,10 ± 2,81	36,77 ± 2,64		34,26 ± 3,38	35,50 ± 2,83	
C18:1(n-7) - Vaccénique	5,85 ± 0,49	5,45 ± 1,21		5,46 ± 0,90	5,20 ± 1,15	S*
C18:2(n-6) - Linoléique	12,46 ± 2,07	12,00 ± 2,59	S*	11,51 ± 2,07	10,23 ± 2,37	C*,S**
C18:2conj. - Linoléiques conjugués	/	/	/	0,53 ± 0,09	0,57 ± 0,11	
C18:3(n-6) - γ-linolénique	/	/	/	0,07 ± 0,03	0,06 ± 0,04	
C18:3 (n-3) - α-linolénique	0,08 ± 0,21	0,11 ± 0,23		0,64 ± 0,13	0,57 ± 0,10	C**,S***,GxS***
C20:0 - Arachidique	0,11 ± 0,31	0,24 ± 0,32		0,13 ± 0,03	0,11 ± 0,04	C*,G*,S*
C20:1 - Eicosènoïque	/	/	/	0,22 ± 0,04	0,21 ± 0,04	G**
C20:2(n-6) - Eicosadiènoïque	/	/	/	0,33 ± 0,06	0,29 ± 0,09	S*
C20:4(n-6) - Arachidonique	2,01 ± 0,53	1,91 ± 0,73	S*, CxS**	2,80 ± 0,64	2,39 ± 0,88	S**
C20:5(n-3) - Timnodonique	/	/	/	0,33 ± 0,11	0,28 ± 0,12	S**
AGS	36,11 ± 1,45	36,88 ± 1,92	G**	38,80 ± 2,64	40,00 ± 2,34	G*,S*
AGMI	45,98 ± 2,99	45,82 ± 2,87	S*	44,99 ± 3,08	45,61 ± 2,62	
AGPI	14,55 ± 2,51	14,01 ± 3,04	S*	16,21 ± 2,81	14,39 ± 3,42	C*,S**
P/S	0,40 ± 0,08	0,38 ± 0,10	S*	0,42 ± 0,09	0,36 ± 0,10	C*,S**

*C = mode de conduite, G = type génétique, S = sexe, P/S = rapport polyinsaturés sur saturés, * = P<0,05 , ** = P<0,01 , *** = P< 0,001.*

Pour la méthode A, deux constituants élués à des temps de rétention intermédiaires à l'acide myristique et à l'acide palmitique pour le premier, à l'acide palmitoléique et à l'acide stéarique pour le second sont décelés mais ne peuvent être identifiés par les analyses spectrales. Les profils en acides gras intramusculaires du *Longissimus dorsi* sont relativement similaires quel que soit le mode d'engraissement si ce n'est une proportion en C16:0 significativement inférieure pour les porcs ¼Duroc, en C16:1 significativement supérieure en plein air et en C18:0 significativement inférieure en plein air. Aucun effet du mode de conduite n'est mis en évidence sur la proportion en acides gras polyinsaturés (p=0.510) et C18:3(n-3) (p=0.689) du *Longissimus dorsi* (Wavreille et *al.*, 2002).

La méthode B permet l'identification d'un nombre plus important d'acides gras monoinsaturés : le C14:1 et le C20:1, mais également polyinsaturés : les acides linoléiques conjugués, le C18:3(n-6), le C20:2(n-6) et le C20:5(n-3). La proportion de C18:3(n-3) apparaît significativement supérieure pour les porcs engraissés en plein air (p=0.009). De même, un effet significatif du mode de conduite est mis en évidence sur la proportion d'acides gras polyinsaturés. Celle-ci est significativement supérieure (p=0.039) en conduite plein air, ce qui rejoint les résultats de Nilzén et *al.* (2001) et Högberg et *al.* (2001). Le rapport P/S est significativement plus favorable (p=0.023) pour les porcs engraissés en plein air.

La proportion d'acides gras de la série n-3 (tableau 2) est significativement supérieure en plein air (p=0.018) à l'image des résultats de Lebret et *al.* (2002), pour des truies de réforme en conduite plein air, mais ne conduit pas à une réduction du rapport n-6/n-3. En effet, la proportion en acides gras n-6 est également significativement supérieure (p=0.044) en plein air.

Tableau 2: Composition en acides gras intramusculaires n-3 et n-6 (*Longissimus dorsi*) selon la méthode B.

	Mode de conduite		Effets
	Plein air (n=24)	Porcherie (n=24)	
(n-3)	0,97 ± 0,20	0,85 ± 0,19	C*,S***,GxS**
(n-6)	14,71 ± 2,73	12,97 ± 3,34	C*,S**
(n-6)/(n-3)	15,48 ± 2,35	15,34 ± 2,44	G*,GxS*

*C = mode de conduite, G = type génétique, S = sexe, P/S = rapport polyinsaturés sur saturés, * = P<0,05 , ** = P<0,01 , *** = P< 0,001.*

Conclusions

En utilisant une méthode plus fine d'analyse (méthode B), il est possible de conclure que le mode d'engraissement des porcs en plein air, nourris à volonté en saison estivale, entraîne une augmentation de la proportion en acide gras polyinsaturés, un rapport P/S plus favorable et une augmentation de la proportion en acides gras n-3 des lipides intramusculaires du muscle *Longissimus dorsi.* Si ces résultats rejoignent la littérature actuelle, la prudence s'impose cependant, au vu de l'influence de la méthode d'analyse qui doit trouver justification.

Remerciements

Ces travaux sont réalisés grâce à la participation financière du Ministère de la Région Wallonne, Ministre de l'Agriculture et de la Ruralité.

FOLCH J., LESS M., SLOANNE-STANLEY B.M. (1957). J. Biol. Chem. 226, 497-509.

HÖGBERG A., PICKOVA J., DUTTA P.C., BABOL J., BYLUND A.C. (2001).Meat Science, 58, 223-229.

LEBRET B., GUILLARD A.-S., BERGER F. (2002). Journées de la Recherche Porcine, 34, 31-37.

NILZÉN V., BABOL J., DUTTA P.C., LUNDEHEIM N., ENFÄLT A-C., LUNDSTRÖM K. (2001). Meat Science, 58, 267-275.

WAVREILLE J., FAES T., SINDIC M., CLAUSTRIAUX J.-J., LOGNAY G., BARTIAUX-THILL N. (2002). Journées de la Recherche Porcine, 34, 23-29.

EFFET DE L'APPORT DIFFERENTES FORMES D'ACIDES GRAS ω3 DANS L'ALIMENTATION DU PORC SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITE DE LA VIANDE.

V VORIN (1) , J MOUROT (1) , M DELION (2), P WEILL (2), G ROBIN (1) , A MOUNIER (1) , P PEINIAU (1)
(1) Unité mixte de Recherches sur le Veau et le Porc - INRA 35590 St-Gilles.
(2) Valorex 35210 Combourtillé

Une relation existe entre les lipides ingérés chez le porc et les acides gras qui se déposent au niveau du tissu adipeux, et à un degré moindre au niveau du muscle (Lebret et al 1998; 1999). Il est donc possible d'introduire dans l'alimentation du porc des facteurs lipidiques jugés bons pour la santé humaine afin de les retrouver dans la viande destinée à la consommation humaine. C'est en particulier les cas des acides gras polyinsaturés et plus particulièrement ceux de la série ω3. Ces acides gras sont contenus en grandes quantités dans les huiles de poisson mais aussi dans certaines graines comme le lin. Pour différentes raisons économiques, la production de lin a augmenté fortement en France ces dernières années et ces graines sont maintenant introduites dans l'alimentation animale. Des procédés de fabrication, en particulier l'extrusion, et une maîtrise raisonnée de l'utilisation ont permis d'éliminer un certain nombre de facteurs gênants pour l'alimentation des animaux.
Cette introduction des ω3 se justifie d'autant plus que les apports nutritionnels conseillés qui viennent d'être publiés (ANC 2000) préconisent un rapport acide ω6/ω3 dans l'alimentation humaine voisin de 5 alors qu'il est de l'ordre de 15 actuellement. Bien entendu la viande de porc, à elle seule, ne pourra pas infléchir ce rapport mais elle y contribuera en étant enrichie en acide α-linoléique et surtout en ses dérivés comme l'acide eicopentaénoïque (EPA, 20:5 n-3) et l'acide docohexaénoïque (DHA 22:6 n-3) qui sont des précurseurs métaboliques importants pour le métabolisme des lipides chez l'homme et qui ne sont apportés dans l'alimentation que par les produits animaux.
Le but de cette étude est de comparer différentes formes d'apport d'ω3 dans l'alimentation du porc et de suivre les effets sur les performances de croissance, la qualité de la viande et d'estimer les quantités d'acides gras n-3 contenues dans la viande.

MATERIEL ET METHODES.

40 porcs mâles castrés de race LW* LR croisés Piétrain sont répartis en 4 lots. Ils reçoivent entre 35 et 105 kg de poids vif des régimes isolipidiques et isoénergétiques apportant des sources différentes d'acides gras ω3: l'huile de soja, graines de lin extrudées, graines de lin crues ou huile de lin. La teneur en acide α-linolénique représente 9 % des AG totaux pour le lot apportant l'huile de soja contre 18 %, 24.8 % et 20.5 % respectivement pour les graines extrudés, graines crues et huile de lin. Les animaux sont en loge individuelle avec une alimentation *ad libitum. Les* quantités ingérées ont été relevées les performances de croissance sont mesurées.
Les lipides totaux sont extraits par la méthode de Folch et al (1957) et la composition en acides gras déterminée par chromatographie en phase gazeuse après dérivation au BF_3 (Morisson et al 1964) sur des échantillons de tissu adipeux sous-cutané dorsal et de muscle longissimus dorsi.

RESULTATS.

Performances de croissances et composition corporelle. L'apport de graines de lin induit un meilleur gain de poids et un meilleur indice de consommation (tableau 1). On peut penser que les lots contenant la matière grasse apportée par les graines de lin serait plus efficace en terme de croissance que les lots où la matière grasse est apportée directement sous forme d'huile.
Le TVM est plus élevé chez les porcs recevant les graines extrudées (NS, mais limite de signification) et l'épaisseur des tissus adipeux est plus faible. Le pH ultime n'est pas modifié.

Tableau 1, Performance de croissance et composition corporelle

	Poids abattage, kg	GMQ en g	Indice de consommation	TVM	Epaisseur $10^{ème}$ côte,mm	PH 24 h
Huile de soja	104.6	975	2.912	59.72	27	5.54
graines extrudées	105.6	1033	2.802	60.58	25	5.60
graines crues	106.7	1055	2.779	59.07	27	5.53
huile de lin	105.7	965	2.964	59.46	27	5.53
RSD	2.4	83	0.153	2.26	2	0.09
Effet	NS	P<0.08	P<0.07	NS	NS	NS

Teneur en lipides et quantité d'acides gras déposés
La teneur en lipides de la bardière (tableau 2) est plus faible chez les porcs recevant les régimes contenant des graines de lin ($p<0.03$) alors qu'elle n'est pas affectée dans le muscle *longissimus dorsi* (tableau 3). L'effet de la composition en acides gras ingérés sur ceux déposés est une nouvelle fois démontré confirmant des travaux précédents (synthèse de Lebret et Mourot 1998). La teneur totale en acides gras ω3 est plus élevée chez les porcs

recevant les régimes à base de lin que ce soit les graines ou l'huile ($p<0.001$). Elle apparaît la plus élevée chez les porcs recevant des graines de lin crues, mais ceci est à minimiser car ce régime en apportait plus (24 % vs 18% d'ω-3) et, toutes choses étant égales par ailleurs, on en retrouve en proportion davantage avec les graines de lin extrudées.

Les teneurs en EPA et DHA acides gras particulièrement important pour le métabolisme lipidique chez l'homme (Legrand et Durand 2001) sont retrouvés en plus grande quantité chez les porcs recevant de l'huile ou des graines de lin, toutefois, la quantité de DHA ne semble pas en relation avec la quantité de C18:3 n-3 ingéré.

Tableau 2. Teneur en lipides et quantité des principaux acides gras de la bardière (mg/100 de TA)

	Huile de soja	Graines extrudées	Graines crues	Huile de lin	Rsd	Effet régimes
Lipides totaux %	78.25^{ac}	75.06^{a}	75.02^{a}	78.92^{bc}	2.75	p<0.03
C16:0	17207^{a}	17734^{ac}	17342^{a}	18581^{bc}	934	p<0.01
C18:0	10803	11517	11544	11852	230	NS
C18:1(n-9)	25603	25773	26167	25946	972	NS
C18:2(n-6)	8898	6670	6516	7119	2087	NS
C18:3(n-3)	1367^{a}	1775^{b}	2497^{c}	2331^{c}	162	P<0.001
C20:5(n-3) EPA	20a	37b	37b	37b	9.7	P<0.001
C22:6(n-3) DHA	23^{a}	28^{a}	28^{a}	23^{a}	5.4	p<0.04
AG saturés	29040^{a}	30287^{ab}	29907^{ab}	31556^{b}	1798	p<0.03
AG monoinsaturés	27414	27661	27998	27872	2138	NS
AG polyinsaturés	11106^{a}	9195^{b}	10014^{ab}	10415^{a}	911	P<0.006
Total AG n-6	9094^{a}	6884^{b}	6958^{b}	7489^{b}	757	P<0.001
Total AG n-3	1565^{a}	1987^{b}	2720^{c}	2558^{cd}	172	P<0.001
Rapport n-6/n-3	5.8^{a}	3.4^{b}	2.6^{cd}	2.9^{d}	0.3	P<0.001

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

Les variations des teneurs en acides gras dans le muscle *longissimus dorsi* (tableau 3) vont dans le même sens que celle observées dans le tissu adipeux avec cependant des effets moindres (synthèse de Lebret et al. 1999).

Tableau 3 Quantité des principaux acides gras du muscle longissimus dorsi (mg/100 g de muscle)

	Huile de soja	Graines extrudées	Graines crues	Huile de lin	Rsd	Effet régimes
Lipides totaux %	1.93	1.89	1.99	2.05	0.25	NS
C16:0	303.6	367.0	330.0	345.8	71.6	NS
C18:0	157.5	182.3	164.8	177.1	36.2	NS
C18:1(n-9)	386.1	438.1	408.0	419.4	88.4	NS
C18:2(n-6)	162.0	210.2	177.2	165.9	49.2	NS
C18:3(n-3)	11.8^{a}	20.0^{ab}	25.1^{b}	17.4^{ab}	6.9	p<0.002
C20:5(n-3)EPA	3.8^{a}	7.1^{ab}	9.7^{b}	6.7^{ab}	4.4	p<0.04
C22:6(n-3)DHA	1.6	1.8	2.3	1.8	0.9	NS
AG saturés	480	569	517	545	109	NS
AG monoinsaturés	434	493	458	470	98	NS
AG polyinsaturés	229	299	265	238	74	NS
Total AG n-6	193	248	207	194	62	NS
Total AG n-3	30^{a}	46^{ab}	54^{b}	39^{ab}	15	p<0.01
Rapport n-6/n-3	6.6^{a}	5.5^{ab}	4.2^{b}	5.0^{ab}	1.2	p<0.002

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

CONCLUSION.

Cette étude montre qu'il est possible d'augmenter le dépôt d'acides gras ω3 dans la viande de porc après une supplémentation dans le régime. Les différentes formes d'apport étudiées permettent d'obtenir un rapport d'acides gras ω6/ω3 voisin de 5, valeur recommandée par les ANC. Toutefois, la graine de lin extrudée semble permettre d'obtenir une meilleure performance de croissance, un TVM plus élevé et une diminution de la teneur en lipides totaux des tissus adipeux, ce qui va dans le sens d'une amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande.

Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris: Afssa, éd. Tec & Doc, 2000
Folch J., Lee M., Sloane Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Lebret B., Mourot J. Prod. Anim. 1998, 11 p131-143
Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. INRA Prod. Anim. 12, 11-28.
Legrand P., Durand G., 2001, OCL, 8, 13-14
Morisson W.R., Smith L.M., 1964. J. Lipid Res., 5, 600-608.

OXYDATION DES PROTEINES PLASMATIQUES ET MUSCULAIRES CHEZ L'AGNEAU SOUMIS A DES RESTRICTIONS ALIMENTAIRES ET REALIMENTATIONS

I. SAVARY-AUZELOUX, D. GRUFFAT-MOUTY, I. ORTIGUES-MARTY.
Unité de Recherche sur les Herbivores, Equipe Nutriments et Métabolismes, INRA de Clermont Ferrand Theix, 63122 St Genès Champanelle.

Introduction : Les qualités sensorielles de la viande sont souvent variables, en particulier la tendreté, chez le ruminant. Les caractéristiques biochimiques musculaires contrôlent en partie la transformation du muscle en viande et par conséquent ses qualités sensorielles (Geay et al, 2001). L'état d'oxydation des protéines musculaires et leur teneur en antioxydants peuvent modifier l'ultrastructure du muscle par une baisse de la solubilité des myosines (Decker et al, 1993) et une sensibilité des protéines oxydées plus importante à la protéolyse (processus essentiel pour une bonne maturation de la viande et donc favorable à la tendreté). L'état d'oxydation des protéines circulantes et tissulaires dépend essentiellement de l'importance des attaques radicalaires qui se mettent en place chez l'animal in vivo. Ces attaques dépendent notamment des facteurs d'élevage tels que le niveau et la nature de l'alimentation ou la conduite des animaux à l'auge vs pâturage. Nous nous sommes donc intéressés à un type de conduite alimentaire (la croissance compensatrice) connue pour favoriser chez le ruminant la tendreté de la viande. Nous avons déterminé les modifications de l'état d'oxydation des protéines plasmatiques et musculaires et des défenses antioxydantes en utilisant le modèle expérimental de l'agneau en croissance soumis à une restriction alimentaire suivie d'une réalimentation.

Matériel et méthodes : Seize agneaux mâles (Ile de France x INRA 401) âgés de 3 mois et de poids vif moyen 26 kg ont été nourris à volonté avec un régime standard composé de 10% de foin et 90% d'aliment concentré (à base de blé, d'orge, de tourteau de soja et de pulpes de betterave). Après 3 semaines d'adaptation à ce régime, les agneaux ont été répartis en 4 en lots (n=4/lot): 1 lot «Témoin» nourri *ad libitum* pendant 21 jours **(T)**, 1 lot restreint correspondant à 60% de l'*ad libitum* pendant 21 jours **(R)**, 1 lot restreint pendant 21 jours puis réalimenté *ad libitum* pendant 12 jours **(RAL)**, 1 lot restreint pendant 21 jours puis réalimenté avec la même quantité d'aliment que celle offerte au lot T (pair feeding) pendant 12 jours **(RPF)**. Une prise de sang a a été réalisée le matin du jour de l'abattage chez les animaux à jeûn de la veille. Les muscles Supra Spinatus (SS) et Longissimus Thoracis (LT) ont été rapidement découpés, congelés et conservés à –80°C. Le degré d'oxydation des protéines (déterminé par le dosage des carbonyls, Levine et al, 1990) musculaires et plasmatiques, la capacité antioxydante totale musculaire (avec le kit Randox) ainsi que les teneurs en glutathion total et oxydé musculaires ont été mesurés (Griffith, 1980).

Résultats : Oxydation des protéines : La restriction alimentaire induit une augmentation significative de la péroxydation des protéines plasmatiques (Figure 1). La réalimentation de 12 jours réduit partiellement (RPF) ou totalement (RAL) l'excès de carbonyls produits. Par contre, aucun effet significatif du niveau d'alimentation n'a été mis en évidence sur le contenu en carbonyls dans les muscles SS et LT (Figure 1) malgré une tendance à une augmentation du contenu en carbonyls chez les animaux R par rapport aux animaux RAL et RPF dans le muscle SS.

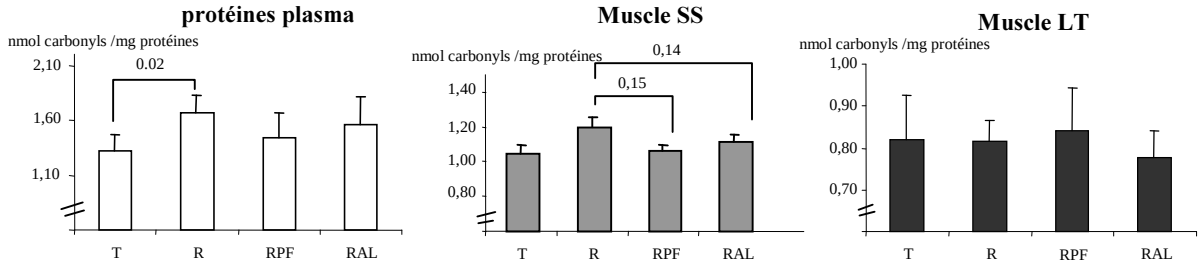


Figure 1 : Contenu en carbonyls des protéines des muscles SS (gris) et LT (noir) et les protéines plasmatiques (blanc) des agneaux nourris avec un régime composé de 90% concentré 10% foin ad libitum (T, n=4), restreints à 60% de l'ad libitum (R, n=4), restreints puis réalimentés ad libitum (RAL, n=4), restreints puis réalimentés pair fed des T (RPF, n=4).

Capacité antioxydante des muscles : Si le taux d'oxydation des protéines musculaires dans le lot R par rapport au lot T n'est pas significativement modifié, la capacité antioxydante totale musculaire est fortement diminuée (-53% $P<0.05$) dans le muscle LT et dans une moindre mesure dans le muscle SS (-14%, NS) (Figure 2). Lors de la réalimentation, que ce soit pour les muscles SS et LT, cette capacité antioxydante reste significativement plus faible dans les muscles des animaux du lot RPF par rapport au lot T (-30% et -63% dans les muscles SS et LT respectivement, $P<0,05$ (Figure 2). Par contre, la réalimentation ad libitum (RAL) a permis de restaurer la capacité antioxydante totale musculaire de façon partielle (pour le muscle LT) ou totale (pour le muscle SS).

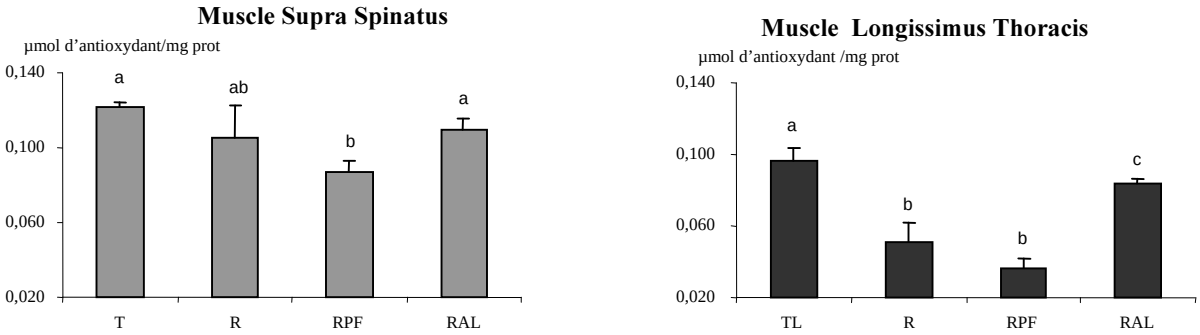


Figure 2 : Capacité antioxydante totale dans les muscles SS et LT des agneaux nourris avec un régime composé de 90% concentré 10% foin ad libitum (T, n=4), restreints à 60% de l'ad libitum (R, n=4), restreints puis réalimentés ad libitum (RAL, n=4), restreints puis réalimentés pair fed des T (RPF, n=4). a,b,c,d (P<0,05).

La teneur en antioxydant musculaire (glutathion), sous sa forme oxydée, n'est pas influencée par le niveau d'alimentation dans les muscles SS et LT (Figure 3). Par contre, une augmentation significative (+28%, P<0,05) du glutathion total a été constatée dans le mucle SS des animaux RAL par rapport au lot RPF.

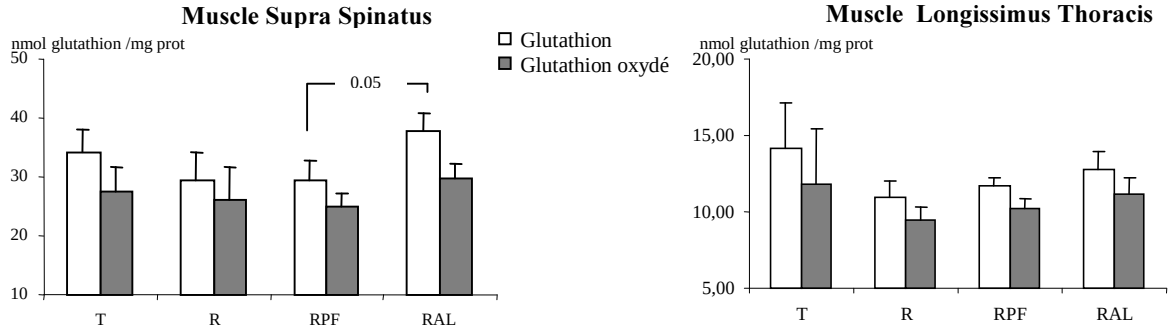


Figure 3 : Contenu en glutathion total (GSH+GSSG) et oxydé (GSSG) des muscles SS et LT des agneaux nourris avec un régime composé de 90% concentré 10% foin ad libitum (T, n=4), restreints à 60% de l'ad libitum (R, n=4), restreints puis réalimentés ad libitum (RAL, n=4), restreints puis réalimentés pair fed des T (RPF, n=4).

Discussion : Stadtman (1990) a montré chez le rongeur que les protéines musculaires oxydées ont une susceptibilité plus grande à être dégradées par les systèmes protéolytiques. Or, dans le cas de notre modèle expérimental agneaux en croissance soumis à une restriction alimentaire suivie d'une réalimentation, aucune modification significative de l'oxydation des protéines n'a été montrée au niveau musculaire. Un effet de l'oxydation des protéines sur la protéolyse musculaire (et donc un effet sur la maturation de la viande en phase post mortem par ce mécanisme) est donc peu probable dans ce cas. Cependant, dans le cas de la croissance compensatrice pratiquée dans les élevages, à un niveau d'alimentation différent sont associés d'autres facteurs qui influent sur l'oxydation des protéines musculaires et le statut antioxydant : nature du régime (ensilage de maïs vs alimentation à l'herbe) (Savary-Auzeloux et al, 2001), teneur du régime en antioxydants comme la vitamine E (Mercier et al, 1998), activité physique des animaux ou conditions climatiques (Aurousseau, 2002). Le faible impact de nos traitements alimentaires sur l'oxydation des protéines musculaires peut s'expliquer par la baisse en parallèle de la capacité antioxydante tissulaire, conséquence d'une protection efficace des protéines vis-à-vis de l'oxydation. Par contre, le niveau alimentaire lors de la réalimentation est essentiel pour restaurer les capacités antioxydantes. En effet, seuls les animaux RAL restaurent leur contenu en antioxydants. Ceci est à prendre en compte lorsque les animaux ont subi de fortes restrictions alimentaires car une diminution trop importante des défenses antioxydantes sur une trop longue période peut rendre l'animal plus sensible aux aggressions et compromettre ainsi sa santé.

Bibliographie :

Aurousseau, B., 2002, INRA Prod. Anim., 15, 67-82
Decker, E.A., Crum, A.D., Shantha, N.C., Morrissey, P., J. Food Sci., 58, 233-236
Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.F., Culioli, J., 2001, Rep. Nutr. Dev., 41, 1-26
Griffith, O.W., 1980, Anal. Biochem., 106, 207-212
Levine, R.L., Garland, D., Oliver, C.N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A.G., Ahn, B.W., Shaltiel, S., Stadtman, E.R., 1990, Methods Enzymol, 186, 464-477
Mercier, Y., Gatellier, P., Viau, M., Remignon, H., Renerre, M., 1998, Meat Science, 48, 301-318
Savary-Auzeloux, I., Micol, D., Dozias, D., Ortigues-Marty, I., 2001, 3R, 8, 107
Stadtman, E.R., 1990, Radical Biol. Med, 8, 315-325

LES OXYDATIONS LIPIDIQUES DANS LA VIANDE

M.RENERRE, Station de recherches sur la Viande, INRA 63122 St Genès-Champanelle

De plus en plus, le consommateur recherche des aliments naturels, d'une grande fraîcheur et d'une grande valeur nutritionnelle; la viande n'échappe pas à cette règle et garde toujours une place importante dans l'alimentation. Contrairement au bovin, où les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont hydrogénés dans le rumen, chez les monogastriques comme la volaille ou le porc, le degré d'insaturation des lipides musculaires des animaux est un bon reflet des lipides trouvés dans leur alimentation. Chez l'homme, cette propriété est mise à contribution car il est maintenant bien établi qu'une alimentation riche en acides gras polyinsaturés permet de diminuer les risques de maladies cardiovasculaires voire de certains cancers. L'accent est mis en particulier sur l'importance d'un bon équilibre entre les oméga 3 et les oméga 6. Toutefois, dans la viande, et plus encore dans les produits transformés secs ou cuits, il est bien connu qu'une forte insaturation des lipides facilite l'oxydation. Cela conduit à des problèmes de rancissement des gras (et donc d'altération de la flaveur), liés à l'apparition de produits d'oxydation des lipides et du cholestérol, ainsi qu'à des problèmes de décoloration (oxydation de la myoglobine) qui entraînent une mévente de la viande préemballée.

En présence d'oxygène moléculaire, l'oxydation des lipides est initiée principalement dans la fraction phospholipidique insaturée des membranes cellulaires. Elle fait appel essentiellement à un mécanisme endogène de réactions en chaînes, de nature radicalaire. Les radicaux libres, dérivés pour la plupart d'espèces réactives de l'oxygène, sont le radical anion superoxyde ($O_2^{-\circ}$), formé dans la mitochondrie lors de la respiration cellulaire, le radical hydroxyle (OH°), un des plus réactifs, les radicaux peroxyle (ROO°), alcoxyle (RO°) et l'oxygène singulet ($^1O_2$). L'eau oxygénée (H_2O_2) produite dans la cellule peut être aussi considérée comme un radical car elle permet la formation du radical hydroxyle (OH°) en présence de métaux de transition par la réaction de Fenton et d'Haber-Weiss. Dans les produits transformés, il peut y avoir aussi formation des radicaux oxyde nitrique (NO°) et anion peroxynitrite ($ONOO^-$) qui peuvent se décomposer et donner aussi naissance au radical OH°. Les radicaux libres oxydent non seulement les lipides mais aussi les protéines, les acides nucléiques et les autres macromolécules conduisant à la mort des cellules et à la destruction des tissus. Dans la viande, l'oxydation de la myoglobine évolue parallèlement à celle des lipides et durant l'autoxydation du pigment, il y a formation de metmyoglobine, du radical $O_2^{-\circ}$ et de H_2O_2. L'interaction de la metmyoglobine avec H_2O_2 génère le radical ferryl-myoglobine ($P^{+\circ}$-Fe ^{IV}=O) impliqué dans l'oxydation des lipides, comme nous l'avons montré au laboratoire. Durant la maturation de la viande, des phénomènes oxydatifs affecteraient aussi les protéines myofibrillaires ce qui favoriserait la protéolyse et donc influencerait la tendreté de la viande.

In vivo, pour limiter la formation des radicaux libres, plusieurs moyens de défense existent. Tout d'abord, les enzymes antioxydantes intracellulaires (superoxyde dismutase, catalase et glutathion peroxydase) freinent la production des radicaux libres oxygénés à l'origine du radical hydroxyle OH°. Différents minéraux, à des degrés divers, ou en tant que composants d'enzymes antioxydantes (Cu-Zn-, Mn- superoxyde dismutase, Se-glutathion peroxydase, Mg,……) peuvent contribuer à freiner les oxydations. Le niveau d'activité de ces enzymes varient en fonction de l'espèce, de l'animal (et de son mode d'alimentation), du type de muscle mais leur importance dans la conservation de la viande fraîche pose encore de nombreuses interrogations. La sélection génétique, ou la supplémentation alimentaire des animaux en différents antioxydants, pourrait permettre d'augmenter l'activité des enzymes antioxydantes in vivo. Ensuite, différentes protéines de stockage et de transport (myoglobine, transferrine, ferritine) ainsi que la carnosine et l'ansérine, dipeptides présents dans le muscle, voire l'acide phytique, peuvent séquestrer une grande partie des métaux de transition comme le fer très impliqué dans les phénomènes de stress oxydatif. Enfin, il existe aussi des antioxydants « casseurs de chaîne » comme la vitamine E (ou α-tocophérol) liposoluble et très efficace, la vitamine C et la vitamine A mais aussi les caroténoïdes (comme le β–carotène), les flavonoïdes, les folates, l'ubiquinone des mitochondries, des thiols (l'acide lipoïque, le glutathion), voire des amines, des polyamines (putrescine ….) ou des nucléotides (acide urique) au rôle moins clairement établi.

Dans l'animal vivant et sain, durant la phase 1 (initiation), la production d'espèces réactives de l'oxygène est contrebalancée par les mécanismes de défense antioxydante. Cependant, en rapport avec de nombreux facteurs comme l'alimentation, un stress oxydatif peut commencer à se développer et endommager les tissus. Post-mortem, la phase 2 de l'oxydation lipidique se développe rapidement car la balance est déséquilibrée en faveur des phénomènes pro-oxydants. On assiste alors à une décompartimentation cellulaire et à un relarguage des ions métalliques comme le fer (à partir de la myoglobine, de l'hémoglobine résiduelle, de la ferritine….) qui va provoquer, en présence de différents cofacteurs comme l'eau oxygénée, l'augmentation des stress oxydatifs. La 3ème phase dite de terminaison résulte dans la propagation des réactions oxydatives; cette phase est accélérée par de nombreux facteurs technologiques comme la réfrigération, la congélation, le broyage, la restructuration, l'irradiation, le chauffage, la cuisson, l'emploi de sel …..

Actuellement, une des meilleures voies possibles pour stabiliser les oxydations dans la viande est de réguler la concentration en antioxydants apportés par l'alimentation de l'animal. Aujourd'hui, et surtout quand les animaux ingèrent des acides gras insaturés (huile de colza, soja…), bénéfiques pour la santé humaine, une supplémentation alimentaire en vitamine E au dessus des besoins physiologiques permet de réduire l'oxydation des lipides ainsi que celle (cas du bovin essentiellement) de la myoglobine responsable du brunissement de la viande en surface; dans certaines conditions, on peut aussi noter une diminution des pertes en eau. Pour le poulet et le porc, une supplémentation alimentaire de l'ordre de 200mg d'acétate d' α-tocophéryl / kg d'aliment pendant au moins 5 semaines est nécessaire pour freiner les oxydations des lipides et, à un degré moindre, de la myoglobine (dose 20 fois supérieure à la dose journalière recommandée, DJR). Dans certaines conditions (projet européen Dietox), cet enrichissement en antioxydant peut même se répercuter sur le taux de cholestérol des consommateurs de viande de porc. Dans la dinde, du fait d'une mauvaise fixation de la vitamine E , les doses nécessaires sont plus élevées et de l'ordre de 400 ppm pendant au moins 12 semaines. Chez le bovin, et malgré une hydrogénation des acides gras polyinsaturés alimentaires par le rumen, les doses recommandées sont de l'ordre de 500 à 1000 mg d'α-tocophérol /jour/animal pendant environ 100 jours. Toutes ces doses sont bien au delà des DJR mais bien en

deçà des doses conduisant à un risque de toxicité comme d'aucuns l'ont prétendu abusivement. Dans ces conditions, nous avons vérifié au laboratoire que l'oxydation des lipides, mais aussi de la myoglobine, chez le bovin était freinée et que le taux de vitamine E résiduelle dans le muscle (LD) était de l'ordre de 3,5 ppm; dans ces conditions, la durée de conservation de la viande bovine qui est augmentée de plusieurs jours par rapport à celle des animaux témoins, représente un avantage certain pour le distributeur. Nous avons aussi observé que la finition à l'herbe des animaux (/auge) avait des effets positifs sur la conservation de la viande du fait d'un enrichissement naturel en vitamine E (et/ou en polyphénols d'origine diverse).

En charcuterie, si le nitrite présente des propriétés antioxydantes, il peut aussi former des nitrosamines cancérigènes et on cherche à baisser son taux. Une étude menée au laboratoire a montré que la supplémentation alimentaire des dindes en vitamine E permettait une baisse du taux de nitrite nécessaire à la fabrication du jambon (:par 2), et par conséquent, une diminution du taux de nitrosamines. A partir de membranes microsomales de muscle de dinde, il a aussi été montré que l'ajout de vitamine E dans l'aliment des animaux, recevant de l'huile de soja, freinait non seulement l'oxydation des lipides (test TBA-RS) mais aussi les oxydations protéiques (taux de résidus carbonyls et de groupements thiols) qui se produisent durant la maturation de la viande et peuvent altérer les propriétés fonctionnelles des protéines. A l'inverse, il est généralement bien admis que l'addition seule de vitamine E dans différents produits carnés (comme la viande hâchée de porc ou de boeuf) donne d'assez mauvais résultats pour freiner les oxydations lipidiques.

Plusieurs essais ont été menés pour étudier le rôle d'une supplémentation alimentaire en acide ascorbique capable aussi d'aider à la régénération de l'α-tocophérol; la plupart des résultats ont montré que la stabilité oxydative n'était pas améliorée. Durant le stockage de la viande, il a même été montré qu'il existait un relarguage du fer libre et que l'acide ascorbique (en faible concentration), en le réduisant, initiait l'oxydation lipidique. Des essais menés sur la dinde pour supprimer le fer de l'alimentation ont donné des résultats pour le moins contradictoires. En concentration élevée (0.5%), l'acide ascorbique aurait une activité antioxydante. In vitro, les chélateurs de métaux les plus efficaces pour freiner l'altération de la flaveur de la viande cuite restent encore les polyphosphates et les dérivés de l'acide citrique (liposoluble) en combinaison ou non avec la vitamine E.

Les composés caroténoïdes, apportés uniquement par l'alimentation des animaux, peuvent se comporter comme des composés anti-oxydants mais leur activité est fonction de nombreux facteurs physico-chimiques (potentiel d'oxydo-réduction, pH, pO_2 …) auxquels s'ajoutent des problèmes de biodisponibilité et de stabilité de ces composés (/lumière) ainsi que ceux liés à leur pouvoir colorant. De plus, comme ils réduisent les métaux de transition, ils peuvent aussi se comporter comme des pro-oxydants (cas du β-carotène) surtout à pression d'oxygène élevée. Si la supplémentation alimentaire en caroténoïdes des poissons donne de bons résultats, pour les animaux de ferme des essais sont encore nécessaires pour connaître leur efficacité. Il faut souligner que les caroténoïdes, ainsi que l'α-tocophérol, sont stables vis à vis des traitements technologiques comme la cuisson. Si des antioxydants phénoliques de synthèse, comme le BHA ou le BHT, inhibent effectivement l'oxydation lipidique, leur utilisation d'un point de vue nutritionnel pose problème. Parmi les nombreux polyphénols testés, et trouvés dans les extraits crûs de fruits, d'herbes, de végétaux ou de céréales (phytostérols du soja……), les catéchines extraites du thé vert (ou à partir du vin) et additionnées dans différentes préparations carnées semblent assez prometteuses pour freiner les oxydations lipidiques voire protéiques. Des essais sont aussi en cours pour suivre l'efficacité des catéchines dans l'alimentation des animaux. D'autres flavonoïdes (la quercétine de l'oignon, le resveratrol du vin, l'acide caféique….) ou caroténoides (lycopéne de la tomate) sont également étudiés. Il en est de même pour différents extraits de nombreuses plantes aromatiques (sauge, thym, origan, cumin, ginseng, moutarde, ail, fenugrec,…) mais aussi de produits très divers, utilisés seuls ou en mélanges (extraits de peau de citron, graine de sésame, de coton, olive, paprika, miel,….). Différentes protéines extraites du petit lait, du soja, du maïs, ou du sérum…. aux propriétés antioxydantes, sont aussi rajoutées dans différents produits carnés. Plus particulièrement les extraits de romarin (avec des succès divers quant à l'amélioration de la flaveur des produits) sont utilisés dans différentes préparations à base de viande et, à un degré moindre, dans l'alimentation des animaux. Les extraits de sauge voire d'origan donneraient aussi de bons résultats. Différents mélanges (tomate-origan-vitamine C, catéchines-romarin, β-carotène ± catéchine-vitamine E….) sont également testés dans différentes préparations carnées ou sur des systèmes modèles membranaires.

La combinaison d'une supplémentation alimentaire en vitamine E et en carnosine, pourrait être un bon moyen pour freiner les oxydations lipidiques cependant son coût de revient reste prohibitif. La taurine, à un degré moindre, a aussi été testée. Le glutathion, tripeptide naturellement présent dans le muscle, aiderait la glutathion peroxydase à détruire les peroxydes lipidiques et les vitamines C et E à se régénérer. Le sélénium, composant de la glutathion peroxydase, est un élément essentiel pour lutter contre l'oxydation. Son contenu dans le muscle est fonction de la nature du sol et il pourrait, en quantité importante, aider à économiser la vitamine E. Des essais d'addition alimentaire de vitamine E et de sélénium donnent de bons résultats.

Pour freiner la vitesse d'apparition des phénomènes oxydatifs, on sait aussi au laboratoire, contrôler la quantité d'oxygène présent en utilisant des modes d'emballages adéquats (conservation sous vide ou sous atmosphères modifiées); avec l'emploi d'absorbeurs d'oxygène (pO_2 <0.1%), la conservation de la viande (T°=O-2°C) peut durer plusieurs mois.

Pour conclure, il est permis de fonder de bons espoirs, pour freiner les oxydations lipidiques, sur certains flavonoïdes (et/ou caroténoides), dont l'action dans la viande reste encore à préciser. Les produits carnés, et en particulier ceux enrichis en vitamine E, pourraient aussi avoir leur place dans les changements d' habitudes alimentaires des Français de plus en plus sensibilisés à la valeur santé des aliments.

Références

E. Decker, S. Livisay, et S.Zhou, in Antioxidants in Muscle Foods, John Wiley, New-York, 2000, p. 25.
J.B. Halliwell et M.C. Gutteridge, in Free Radicals in Biology and Medicine, Clarendon Press, Oxford, 1989
P.A. Morrissey, P.J.Sheehy, K.Galvin, J.Kerry et D.J.Buckley, in Proceedings 44th ICoMST, Barcelone, 1998, p.120.
A.Mortensen et L.H.Skibsted, in Antioxidants in Muscle Foods, John Wiley, New-York, 2000, p.61.
L. Packer in Vitamin E in Health and Disease, M. Dekker, New-York, 1993, p.977.
M.Renerre, in Antioxidants in Muscle Foods, John Wiley, New-York, 2000, p. 113.

INFLUENCE DU MODE DE FINITION (HERBE /AUGE) SUR L'OXYDATION DES LIPIDES, DE LA MYOGLOBINE, LE TAUX DE FER HEMINIQUE ET L'ACTIVITE DES ENZYMES ANTIOXYDANTES DE LA VIANDE DE GENISSES CHAROLAISES.

GATELLIER, P., MERCIER, Y*. et RENERRE, M.°
° Station de Recherches sur la Viande, INRA de Theix, 63122 St Genès-Champanelle ;
*** Institut Charolais, 71120 Charolles**

Introduction

La couleur rouge vif de la viande bovine est une des caractéristiques principales qui va déterminer la durée de vie du produit et influencer le consommateur lors de son achat. En parallèle, il se produit aussi une oxydation des lipides qui va entraîner un rancissement de la viande, l'apparition de flaveurs désagréables et une diminution des qualités nutritionnelles. On sait aussi que l'oxydation lipidique résulte de la production de radicaux libres oxygénés, radicaux impliqués également dans l'autoxydation de la myoglobine qui passe progressivement de la couleur rouge vif à marron. La stabilité oxydative du muscle va dépendre de la balance entre les composés antioxydants, comme l'α-tocophérol, les caroténoïdes et les flavonoïdes ingérés par l'animal, les enzymes antioxydantes et les composés pro-oxydants comme les acides gras polyinsaturés , le fer libre et le fer héminique de la myoglobine (Renerre, 1999). Par ailleurs, on note un intérêt accru du consommateur vis à vis de la qualité nutritionnelle des produits alimentaires dont la viande fait partie et il est bien admis qu'une alimentation à l'herbe des animaux entraîne une augmentation des teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPI) de la famille des n-3 dans les tissus, AGPI qui ont des effets positifs vis à vis de la prévention des maladies cardio-vasculaires notamment. Cependant, a contrario, les AGPI sont particulièrement sensibles à l'oxydation et ils favorisent la formation de composés oxydés indésirables.

Objectifs

Une recherche a donc été initiée en collaboration avec l'Institut Charolais afin de caractériser la qualité de la viande bovine conservée au froid à partir de différents types d'animaux (bœufs, génisses, vaches), élevés dans différentes fermes de Bourgogne, et qui ont eu des modes de finition différents pendant 3 mois environ : herbe ou auge. Le travail mené au laboratoire a consisté à mesurer le taux de fer héminique, la stabilité de la couleur, l'oxydation lipidique de la viande et l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, catalase et GPx). Le taux de vitamine E a été mesuré par ailleurs.

Méthodes

L'étude a été menée à partir de 40 génisses Charolaises et nourries alternativement à l'herbe durant l'été et à l'auge durant la période hivernale. Durant une période d'environ 100 jours précédent l'abattage (période de finition), les animaux ont été nourris soit exclusivement à l'herbe, soit exclusivement à l'auge (céréales, tourteaux, ensilage). 24 heures post-mortem, le muscle Long Dorsal a été prélevé sur la carcasse et emballé sous vide pendant 14 jours et conservé à +4°C. Après ouverture des sachets, les muscles ont été coupés en tranches, mis dans des barquettes et emballés sous film PVC perméable aux gaz et stockés à l'obscurité à 4°C pendant 6 jours. Au bout de cette période, les mesures de couleur ont été réalisées par réflectance avec un spectrocolorimètre Kontron, équipé d'une sphère intégratrice ; les spectres ont été enregistrés de 360 à 760 nm et les caractéristiques de couleur mesurées dans le système CIELAB 1976 (L*, a*, b*). L'oxygénation de la viande a été mesurée grâce au rapport de réflectance R630-R580. L'oxydation des lipides a été mesurée par le test TBA-RS et les résultats exprimés en mg de MDA / kg de viande. Le taux de vitamine E ainsi que l'activité des enzymes antioxydantes ont été mesurées selon les méthodes décrites précedemment (Renerre et al; 1999).

Résultats et discussion

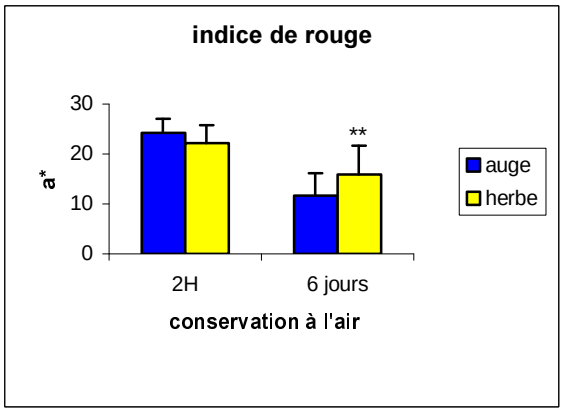
Après un stockage de la viande sous vide pendant 14 jours et une conservation à l'air de 6 jours maximum, on constate que l'indice de rouge a* (figure 1) est plus élevé dans la viande des animaux à l'herbe comparé à celui des animaux à l'auge : la couleur est plus rouge vif ($P<0.01$). Si l'on prend en compte la différence de réflectance R630-R580, on observe que cette différence, après une conservation sous vide et à l'air est plus importante ($P<0.01$), quand les animaux ont été nourris à l'herbe par rapport à ceux nourris à l'auge (figure 2). Cela signifie que le taux d'oxymyoglobine est plus important et que la viande se vendra mieux. Comme le montre la figure 3, l'oxydation des lipides révélée par le test TBA-RS est beaucoup plus importante ($P<0.001$) dans la viande des animaux finis à l'auge que dans celle des animaux finis à l'herbe. Cela pourrait s'expliquer en grande partie par le fait que la quantité de vitamine E dosée dans la viande des animaux nourris à l'herbe (tableau 1) est significativement supérieure ($P< 0.001$) à celle des animaux nourris à l'auge; par ailleurs il pourrait aussi y avoir des taux différents de caroténoides et/ou de flavonoides. Le taux de vitamine E mesuré dans la viande est très proche de celui trouvé précédemment où les animaux avaient aussi pâturé avant d'être abattus (Gatellier et al., 2001).
Dans la littérature, avec des plans d'expérience plus ou moins différents du nôtre, les résultats sont contradictoires. En effet, si O'Sullivan et al (2002) aboutissent aux mêmes conclusions que nous, à l'inverse, Yang et al. (2002) ont montré que les animaux nourris à l'herbe durant 132 jours présentaient une oxydation des lipides plus importante. French et al. (2001) à partir de bœufs croisés n'observent pas de différence au niveau de la couleur.

Par ailleurs, nos résultats pourraient aussi s'expliquer par le fait que suivant l'alimentation des animaux, le taux et la nature des lipides musculaires va varier (résultats en cours de dépouillement). En effet, de nombreux auteurs comme Lynch et al (2002) par exemple, ont montré que les animaux nourris à l'herbe avaient des taux d'acides gras polyinsaturés (en particulier C18 :3) dans la fraction phospholipidique supérieurs à ceux trouvés dans la viande d'animaux finis à l'auge ce qui ne se traduisait pas par une oxydation des lipides de la viande plus élevée. Le taux de fer héminique (tableau 1) est plus important à l'auge qu'à l'herbe ($P<0.001$): ceci va favoriser l'oxydation des lipides, comme nous l'avons montré précédemment, et altérer plus rapidement la qualité de la viande (Renerre, 1999).
La mesure des activités antioxydantes donne des résultats contradictoires et non encore parfaitement expliqués. En effet, l'activité de la (Cu-Zn-) SOD est plus importante ($p< 0.001$) dans la viande des animaux nourris à l'herbe comparé à l'auge (tableau 1). Cela pourrait s'expliquer en partie par des différences de teneur en cuivre et en zinc entre les 2 modes de finition des animaux. A l'inverse, l'activité de la (Se-) GPX est fortement diminuée ($P< 0.001$) dans le cas du régime à l'herbe ce qui pourrait s'expliquer plus facilement par le fait que la région est très pauvre en sélénium comme l'indiquent bien les premiers résultats. Ces dernières observations sur la GPX sont en accord avec les résultats de Mouty et al. (2001). L'activité de la catalase (non montrée) semble peu influencée par le régime alimentaire.

Conclusion

Les premiers résultats de cette expérience semblent indiquer que la viande des génisses finies à l'herbe est plus rouge vif lors de la conservation, et présente un taux d'oxydation des lipides plus faible. Cela s'expliquerait en grande partie par un taux de vitamine E plus élevé. Les résultats de la composition lipidique des muscles permettra aussi d'avancer des explications. De plus, l'examen de la littérature devrait nous permettre de mieux comprendre le rôle complexe des enzymes antioxydantes que sont la SOD, la catalase et la GPX impliquées dans ces phénomènes responsables du rancissement de la viande.

Figure 1



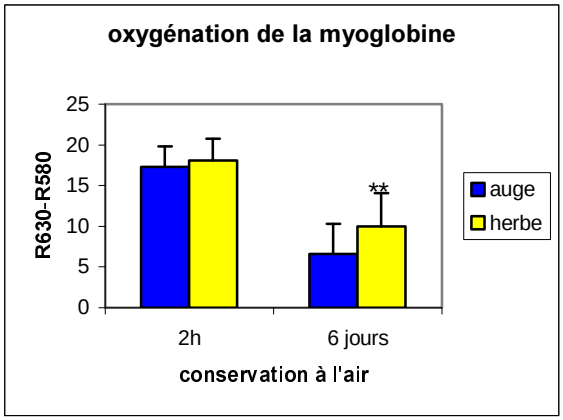


Figure 2

Tableau 1

	auge	*herbe*
vitamine E	**2.97 ppm ± 0.81**	**4.36 ppm ± 1.0**
Fer héminique	**18.2 µg ± 2.2**	**15.2 µg ± 2.3**
SOD	**0.67 UI ± 0.11**	**4.08 UI ± 1.31**
GPX	**192 UI ± 43**	**72 UI ± 13**

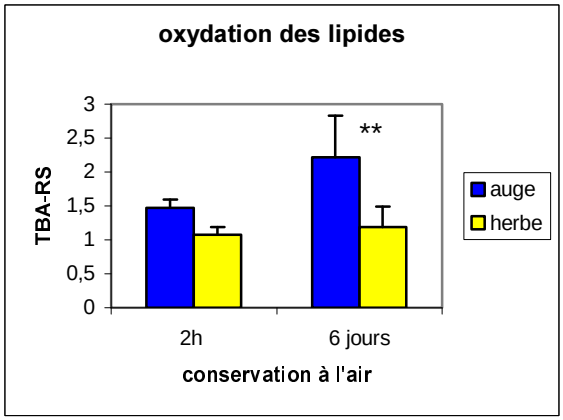


Figure 3

Références bibliographiques

French P., O'Riordan G., Monahan F., Caffey P., Mooney M., Troy D. et Moloney A. Meat Science, 57, (2001), 379.
Gatellier P., Hamelin C., Durand Y. et Renerre, M. , Meat Science, 59, (2001), 133.
Lynch A., Buckley D., Galvin K., Mullen A., Troy D. et Kerry J. , Meat Science, 61 (2002) 227.
Mouty D., Durand D., Dozias D., Micol D., Ortigues-Marty I. et Bauchart D. , Journées 3R, (2001)
O'Sullivan A., O'Sullivan K., Galvin, K., Moloney A., Troy D. et Kerry, J. Journal of Animal Science, 80, (2002), 1556.
Renerre, M.,Proceedings (review) du 45th ICoMST, (1999) ,Yokohama, 344.
Renerre M, Poncet K., Mercier Y, Gatellier P. et Métro, B. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, (1999) 237.
Yang, A., Lanari M.C., Brewster, M. et Tume, R. Meat Science, 60, (2002), 41.

Génétique et Qualités des viandes

Animateurs : P. LEROY (INRA – Jouy en Josas)
et P. SELLIER (INRA – Paris)

Conférence

L'AMELIORATION GENETIQUE DE LA QUALITE DE LA VIANDE DANS LES DIFFERENTES ESPECES : SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES A COURT ET MOYEN TERME

GILLES RENAND[1], CATHERINE LARZUL[2], ELISABETH LE BIHAN-DUVAL[3] et PASCALE LE ROY[1]

[1] INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, Jouy en Josas
[2] INRA, Station d'Amélioration Génétique des Animaux, Castanet Tolosan
[2] INRA, Station de Recherches Avicoles, Nouzilly

L'amélioration de la qualité de la viande dans les différentes espèces doit se raisonner en intégrant la phase de production et la phase de transformation. La production de viande exploite la capacité des animaux d'élevage à transformer des aliments d'origine végétale en tissu musculaire. La transformation du tissu musculaire en viande consommable concerne aussi bien la viande consommée directement en frais, après cuisson bien entendu, que celle qui a subi divers traitements technologiques pour la transformer et/ou la conserver. Il va de soi que la qualité du produit consommé résulte alors de l'action combinée de nombreux facteurs qui, pour la majorité d'entre eux, sont en fait contrôlés par l'homme. Si le mode de cuisson est déterminant sur la qualité sensorielle de la viande, tous les traitements appliqués depuis l'abattage le sont également : abattage, ressuage, refroidissement, maturation, transformation, conservation. De même, avant l'abattage, l'action de l'homme, en l'occurrence l'éleveur engraisseur, s'avère prépondérante de part ses décisions quant au choix du système de production (régime alimentaire, rythme de croissance) et du stade d'abattage (poids, âge ou état d'engraissement fixé).

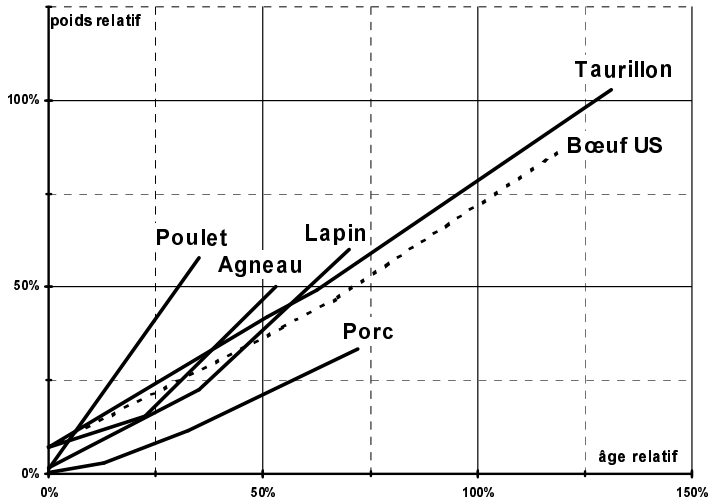
Si les actions de l'homme sont primordiales, l'animal a tout de même sa part de responsabilité sur la qualité de la viande produite. L'ensemble de son génôme contrôle en effet la mise en place des tissus et leur métabolisme jusqu'à l'abattage. Mais ce génôme s'exprime en interaction avec le milieu environnant et la variabilité observée résulte de ces deux composantes. Vouloir améliorer la qualité de la viande via la génétique dépend de notre capacité à discerner dans la variabilité de la qualité ce qui est effectivement d'origine génétique et utilisable par la sélection pour être cumulé au cours des générations. Cette discrimination sera d'autant moins hasardeuse qu'on aura réduit la part de la variabilité non génétique en standardisant au mieux les conditions de milieu *ante* et *post mortem*. Toutes choses étant égales par ailleurs (conduite, abattage, traitements, etc..), les différences entre animaux expriment alors ce qui est communément appelé la variabilité individuelle et que les généticien appellent la variabilité phénotypique.

Pour ce qui concerne la qualité de la viande, nos connaissances sur la variabilité individuelle et son déterminisme génétique sont encore limitées. La principale raison réside dans le manque de lisibilité de la demande des consommateurs. Ainsi en l'absence de réelle plus value économique quantifiable pour les viandes de qualité supérieure (toutes choses étant égales par ailleurs, bien entendu) il n'existe pas de mesure de cette qualité qui serait contrôlée en abattoir. Ensuite la difficulté d'obtenir des enregistrements, même indirects, de cette qualité dans les programmes expérimentaux limite les possibilités d'entreprendre des études génétiques de dimension suffisante. Les seuls qualités de la viande particulièrement bien étudiées concernent des défauts majeurs de la viande de porc qui ont un impact économique important et quantifiable au niveau de la transformation. En conséquence, le déterminisme génétique de ces qualités technologiques a été mis en évidence et la gestion des défauts est désormais possible dans nos races et lignées.

Même dans le cas du porc, les qualités sensorielles sont peu ou pas du tout prises en compte dans les programmes de sélection. Nos connaissances sont en cours d'élaboration. Leurs relations avec les caractéristiques du muscle et les caractères de production actuellement sélectionnés sont actuellement étudiées. L'objectif de ces études est de pouvoir alerter les responsables professionnels si une dégradation des qualités est à redouter suite à l'amélioration du potentiel de production des animaux et, éventuellement, de proposer des critères de sélection utilisables dans ses programmes. Selon les espèces, le progrès génétique réalisé sur la productivité de l'engraissement peut être fort variable. Celui-ci est essentiellement obtenu par une sélection de la vitesse de croissance, parfois complétée par une sélection indirecte sur la composition corporelle pour améliorer la croissance musculaire au dépens de la croissance adipeuse. La principale conséquence visible de cette sélection est la réduction de la durée d'engraissement et donc de la maturité des animaux à l'abattage. A cet premier effet peuvent s'ajouter d'éventuelles modifications des caractéristiques musculaires suite à la sélection sur la composition corporelle. Dans les deux cas, il est nécessaire de quantifier les éventuelles modifications des qualités sensorielles de la viande qui sont associées à ces deux effets.

Entre espèces il existe d'énormes différences de la maturité des animaux au moment de l'abattage. Si les espèces de basse-cour (porcs, volailles, lapins) sont abattus à un stade très précoce (avant la maturité sexuelle), les bovins sont par contre abattus à un degré de maturité nettement plus élevé (figure 1). Les relations avec les qualités de la viande sont certainement fort variables selon l'espèce considérée et seront donc présentées séparément pour chaque type de production.

Figure : Âge et poids des animaux de boucherie (relatifs à l'âge à la puberté et au poids adulte des femelles reproductrices de ces espèces).



La sélection des porcs et l'amélioration de la qualité de leur viande

L'amélioration génétique du porc charcutier a depuis une trentaine d'années intégré la nécessité de prendre en compte les qualités technologiques de la viande puisqu'une part importante de la carcasse de porc (environ 2/3) est destinée à l'industrie de la transformation, en particulier pour fournir le marché en jambon cuit. Jusqu'à présent, les actions génétiques conduites en France chez le porc ont porté sur des gènes individuels à effet majeur sur la qualité de la viande (HAL et RN) ou ont emprunté les voies plus conventionnelles de la génétique quantitative (indices de sélection combinant plusieurs caractères, dont la qualité de la viande sous la forme de la variable IQV).

1. Viande exsudative : le gène majeur halothane (HAL)

Dès le début des années 70, l'incidence d'un défaut majeur de la viande de porc (viande PSE pour « Pale, Soft, Exudative ») a fait l'objet de nombreuses études qui ont mis en évidence son origine génétique (locus HAL) et son lien avec la prédisposition au syndrome de stress du porc, appelé aussi syndrome d'hyperthermie maligne (Christian, 1972 ; Judge, 1972 ; Ollivier et al., 1975). Le locus HAL comporte deux allèles : N (normal) et n (sensible). Le défaut PSE est causé par une chute excessivement rapide du pH post mortem (pH1 < 6) et induit, entre autres conséquences, une moindre tendreté de la viande fraîche et de mauvais rendements de fabrication du jambon cuit ou cru, alors que l'allèle n a des effets favorables sur la composition de la carcasse. La mise au point d'un test de détection des sujets sensibles à l'halothane (test halothane, Eikelenboom & Minkema, 1974), puis l'utilisation des marqueurs sanguins Phi et Pgd, génétiquement liés à HAL (Saugère et al., 1989) et enfin la découverte de la mutation responsable sur le gène du récepteur de la ryanodine (Fujii et al., 1991), rapidement suivie de la mise au point d'un test moléculaire ad hoc, ont permis l'éradication quasi complète de l'allèle n dans les grandes populations porcines exploitées comme lignées maternelles, alors que cet allèle est pratiquement fixé dans la race Piétrain, fréquemment utilisée pour fabriquer des verrats de croisement terminal (Sellier, 1998). Une question longuement débattue a concerné la valeur exacte des sujets hétérozygotes Nn en termes de qualités technologiques et sensorielles de la viande (Larzul et al., 1997a ; Monin et al., 1999). Une tendance se dessine actuellement dans plusieurs organisations de sélection porcine françaises en faveur de l'emploi de verrats terminaux non porteurs de l'allèle n (cf. les projets de création de lignées Piétrain NN).

2. Indice de qualité de la viande (IQV)

Dans les populations porcines, des progrès génétiques importants ont été réalisés sur les caractères de croissance mais aussi sur la composition corporelle, grâce à la mise en place de programmes de sélection

combinant l'évaluation individuelle des verrats sur l'épaisseur du gras dorsal (mesurée in vivo) et l'évaluation du pourcentage de muscles de collatéraux abattus et découpés. Depuis plus de vingt ans, cette sélection a été complétée par l'utilisation d'une variable composite nommée IQV (Indice Qualité de la Viande). Cet indice combine trois mesures réalisables en site industriel sur la coupe du jambon : le pH ultime, la clarté (réflectance) et la capacité de rétention d'eau (temps d'imbibition d'un papier buvard) dans le but de prédire le rendement technologique de la fabrication du jambon de Paris (Jacquet et al., 1984 ; Guéblez et al., 1990) : un meilleur rendement va de pair avec un pH et un temps d'imbibition plus élevés et une couleur moins claire. Grâce à la base de données ainsi constituée, les paramètres génétiques de ces mesures ont été estimés et des indices de sélection synthétiques ont été proposés. Il existe de nombreuses études (cf. revue de Sellier, 1998) qui montrent que l'héritabilité (h^2) de ces mesures de la qualité technologique et celle de l'IQV ne sont pas négligeables (h^2 entre 0,15 et 0,25 en général), bien que plus faibles que celles des caractères de croissance (h^2 de 0,30 environ) ou de composition corporelle (h^2 entre 0,40 et 0,55). Les estimées des corrélations génétiques du pH ultime avec le rendement à la cuisson sont suffisamment élevées (rg = 0,70 en moyenne) pour espérer améliorer ce dernier en sélectionnant pour le pH ultime ou l'IQV. Il s'avère par ailleurs que si les qualités technologiques de la viande de porc sont génétiquement indépendantes de la vitesse de croissance, elles sont par contre défavorablement corrélées avec la composition corporelle. Tribout et al. (1996) ont ainsi trouvé que dans les races Large White et Landrace la corrélation génétique entre pH ultime et épaisseur de lard est positive (respectivement 0,10 et 0,53) et que celle existant entre pH ultime et pourcentage de muscle est négative (respectivement -0,21 et -0,56). Pour tenir compte de cet antagonisme génétique entre caractères de production et caractères de qualité technologique et répondre à l'objectif de sélection qui est d'améliorer les premiers tout en maintenant les seconds à un niveau acceptable, la sélection porte actuellement sur un indice synthétique avec une pondération non négligeable sur IQV. Des études réalisées dans les années 90 montrent qu'il existe une évolution génétique très légèrement défavorable de l'IQV dans les races Large White et Landrace (Ducos et al., 1995). Afin de quantifier les réponses génétiques effectivement obtenues suite à la sélection pratiquée pendant 20 ans en race Large White, une expérience a été mise en place pour comparer des porcs charcutiers issus de verrats d'insémination nés en 1977 et en 1998 (Tribout et al., 2001). Plusieurs caractères concernant les qualités de la viande (et du gras) sont bien évidemment mesurés à cette occasion, mais les résultats ne sont pas encore disponibles.

3. Viande acide : le gène majeur RN

Entre-temps, un nouveau défaut est apparu suite à l'utilisation de la race américaine Hampshire pour constituer de nouvelles lignées synthétiques de verrats pour le croisement terminal : la viande acide, qui se traduit par un faible rendement technologique. Afin d'évaluer ce défaut dans les populations concernées, Naveau (1986) a mis au point un test de fabrication de type jambon cuit sur un échantillon de muscle demi-membraneux, conduisant à la mesure du « rendement technologique Napole » (RTN). Cette mesure, lourde mais efficace, a permis de mettre en évidence l'origine génétique de ce défaut : un seul gène dont l'allèle dominant provoque une réduction significative du rendement Napole (Le Roy et al., 1990) et était originellement en ségrégation dans la race Hampshire. L'étude des phénomènes biologiques impliqués a montré que ce défaut était lié à une amplitude trop importante de la chute du pH post mortem, elle-même conséquence d'un stock de glycogène particulièrement élevé (+70%) dans les fibres musculaires blanches et rapides (Estrade et al., 1993). Cette faible valeur du pH ultime s'accompagne d'autres effets sur la qualité de la viande : la viande est plus pâle, a une moindre capacité de rétention en eau et est moins tendre, alors que sa flaveur est accrue (Le Roy et al., 1996). Grâce à l'utilisation de la carte génétique porcine et à une démarche de recherche de QTL, le gène RN a pu être localisé dans un premier temps sur le chromosome 15 (Milan et al., 1995). La mutation causale a ensuite été identifiée dans le gène PRKAG3 codant pour une molécule intervenant dans la régulation d'une protéine kinase (AMPK), elle-même impliquée dans la biosynthèse du glycogène (Milan et al., 2000). Il est donc désormais possible, à l'aide d'un test moléculaire, de sélectionner directement sur le génotype au locus PRKAG3 pour éliminer le défaut « viande acide » dans les populations concernées.

L'amplitude de la chute du pH musculaire, donc la qualité technologique de la viande, dépend du potentiel glycolytique (PG) du muscle (Monin et Sellier, 1985), c'est-à-dire de l'importance des réserves intra vitam en composés musculaires susceptibles de se transformer en acide lactique au cours de la glycolyse post mortem. La valeur du PG peut être estimée *in vivo* sur un échantillon de muscle long dorsal prélevé par biopsie. Il s'avère que, même en l'absence de l'allèle défavorable RN^- au locus RN, il existe une variabilité génétique non négligeable (h^2 = 0,25) de ce potentiel glycolytique (Le Roy et al., 1998) et qu'il présente une corrélation génétique négative avec le rendement technologique (rg = -0,42 ; Larzul et al., 1999). La possibilité de sélectionner les verrats candidats à la reproduction directement pour un faible PG mesuré *in vivo* pourrait théoriquement permettre d'accroître l'efficacité des programmes d'amélioration génétique de la qualité technologique de la viande (Larzul et al., 1998). Toutefois, une expérience de sélection sur 6 générations n'a pas permis de mettre en évidence de réponse corrélative significative sur le rendement technologique de la fabrication du jambon cuit (Larzul et al., 1999).

4. Qualités sensorielles et teneur en lipides intramusculaires

La prise en compte des qualités sensorielles de la viande de porc est une préoccupation relativement récente. En effet les progrès génétiques réalisés pour réduire l'adiposité des carcasses et les corrélations génétiques défavorables entre le rapport muscle/gras de la carcasse et les qualités sensorielles de la viande fraîche (rg = -0.25 avec la tendreté et la jutosité et rg = -0,35 avec la flaveur, en moyenne) font craindre une détérioration de ces qualités (Sellier, 1998). Bien que les liaisons phénotypiques soient assez peu marquées, une plus forte teneur en lipides intramusculaires est favorablement corrélée avec les résultats des tests de dégustation de la viande fraîche (Fernandez et al., 1999 ; Van Laack et al., 2001), même si le comportement d'achat du consommateur ne traduit pas cette préférence (Fernandez et al., 1996). La teneur en lipides intramusculaires influe également sur la qualité du jambon sec. Comment améliorer simultanément la teneur en lipides intramusculaires et le rapport muscle/gras des carcasses lorsque la relation génétique entre les deux caractères est défavorable : rg = -0.35 environ (Sellier, 1998) ? Une première solution est de tirer parti de la particularité de la race américaine Duroc qui se caractérise par une teneur en lipides intramusculaires nettement supérieure à celle des races Large White et Landrace, alors que la composition de la carcasse est pratiquement identique chez le Duroc, le Large White et le Landrace. La race Duroc a ainsi été introduite en France pour la constitution de nouveaux types génétiques de verrats de croisement terminal.

L'antagonisme génétique entre teneur en muscle de la carcasse et teneur en lipides intramusculaires est réel mais n'est cependant pas si marqué qu'il annihile tout espoir de conduire une sélection efficace sur un index synthétique combinant les deux informations. La limite réside plus dans la difficulté d'introduire la teneur en lipides intramusculaires dans les programmes de sélection du fait du coût de leur dosage. Des recherches sont donc menées pour trouver des mesures physiques réalisables *in vivo* (Baas et Newcom, 2002) ou en routine dans les abattoirs et suffisamment précises pour discriminer la teneur en lipides entre animaux dont la teneur moyenne est très faible (1.5 à 2 %). Une mesure systématique de la teneur en lipides intramusculaires par spectrophotométrie est toutefois réalisée dans les stations de testage en Suisse et a été incluse avec un certain succès parmi les critères de sélection (Schwörer et al., 2000). La mise en évidence de gènes responsables de l'aptitude à stocker des lipides dans les adipocytes intramusculaires permettrait un travail de sélection efficace à condition qu'un polymorphisme existe dans les populations porcines exploitées et qu'il soit facilement détectable. Par une analyse de ségrégation appliquée au taux de lipides intramusculaires de porcs provenant de croisements F2 entre la race chinoise Meishan et des lignées européennes, Janss et al. (1997) ont montré qu'un gène majeur devait être en ségrégation chez ces animaux croisés : l'allèle récessif assurerait aux homozygotes porteurs une teneur de 3,9% contre1,8% pour les hétérozygotes et les homozygotes non porteurs. Des résultats similaires ont été obtenus par Sanchez et al. (2002) avec des animaux résultant du croisement F2 entre le Duroc et le Large White. Cette approche ne permet pas toutefois de localiser ce gène sur le génome. L'approche QTL a par ailleurs mis en évidence plusieurs zones du génome (sur les chromosomes 1, 2, 4, 6 et X) susceptibles de contenir un gène à effet majeur sur la teneur en lipides intramusculaires (cf. revue de Bidanel et Rothschild, 2002). Récemment, Bidanel et al. (2002) ont détecté un QTL de ce type sur le chromosome 7, dans la même zone qu'un QTL affectant l'adiposité des carcasses. Il s'avère que l'allèle originaire de la race Meishan est associé à une teneur en lipides intramusculaires plus élevée, tout en étant aussi associé à une moindre épaisseur de gras dorsal. L'exploitation d'un tel QTL permettrait de « rompre », au moins partiellement, la liaison génétique positive entre lipides intramusculaires et teneur en gras des carcasses. Cette dernière étude a également mis en évidence dans la même zone du chromosome 7 un QTL affectant l'activité de l'enzyme malique, enzyme impliquée dans la lipogenèse mais dont le gène codant se trouve en fait sur le chromosome 1. Grâce à une carte génétique toujours plus fine et à la cartographie comparée, les travaux s'orientent vers la recherche du ou des gènes responsables d'effets majeurs et en particulier vers l'identification des gènes régulant l'activité de l'enzyme malique. Toutefois, dans cette région du chromosome 7 se trouvent également le complexe majeur d'histocompatibilité du porc (système SLA) et donc de très nombreux gènes candidats.

5. Autres caractères de qualité

La variabilité génétique d'autres caractères ayant trait à la qualité du produit porc ont fait l'objet de travaux de recherche dans les deux dernières décennies, mais sans qu'ils aient débouché pour le moment sur une véritable prise en considération de ces caractères dans les programmes d'amélioration génétique. Des travaux sont entrepris pour déterminer la variabilité de la composante myofibrillaire des caractéristiques musculaires et leurs relations avec les qualités de la viande. Les muscles sont en effet constitués d'une proportion variable de fibres très nettement différenciées quant à leur propriété contractile et leur métabolisme énergétique. De ce fait les caractéristiques biochimiques (stocks de composés énergétiques et équipement enzymatique) du muscle et les qualités de la viande qui leurs sont associées varient notablement en fonction de la proportion de ces fibres (Karlsson et al., 1999). A l'heure actuelle il n'existe encore que très peu de résultats sur le déterminisme génétique de ces caractéristiques musculaires, si ce n'est l'étude de Larzul et al. (1997). Ces travaux ne permettent pas pour l'instant De conclure sur l'utilité d'inclure des mesures sur les fibres musculaires dans les

programmes de sélection en vue d'améliorer la qualité de la viande de porc. Mentionnons également les travaux visant à l'estimation des paramètres génétiques des caractéristiques de composition chimique du gras de porc, qui sont impliquées dans le risque d'apparition de « gras mou » (Maignel et al., 1998) et la série d'études sur le déterminisme génétique de l'odeur sexuelle de la viande de porc mâle entier (« *boar taint* »), abordé sous l'angle de la teneur en androsténone du tissu gras (Fouilloux et al., 1997 ; Sellier et al., 2000). Plus récemment, il a été montré qu'une variabilité génétique existe pour la prédisposition à un phénomène connu sous le nom de « viande déstructurée »,qui touche principalement la musculature profonde du jambon et se traduit notamment par une augmentation des pertes au tranchage du jambon cuit (Franck et al., 2000 ; Le Roy et al., 2001 ; Bouffaud et al., 2002).

La sélection des volailles et l'amélioration de la qualité de leur viande

La sélection génétique a largement contribué à l'amélioration de la productivité des volailles de chair, notamment en poulet et dinde. Après une période où la sélection ne portait que sur la croissance, l'amélioration du rendement en viande commercialisable est également recherchée pour répondre aux besoins croissants des industries de transformation (Pollock, 1997). De plus, la réduction des dépôts adipeux abdominaux permet d'améliorer indirectement l'indice de consommation, caractère économiquement très important mais difficile à sélectionner directement. Des coefficients d'héritabilité élevés et la possibilité de contrôler des collatéraux abattus permettent de sélectionner les reproducteurs simultanément sur leur propre croissance et la composition de leurs collatéraux pour améliorer efficacement le rendement en filet et réduire les dépôts adipeux internes (Le Bihan-Duval et al., 1998).

1. Qualités sensorielles

Les qualités sensorielles des volailles de chair dépendent étroitement de l'âge d'abattage. La réduction drastique de l'âge à l'abattage chez le poulet de chair ou la dinde standards suite à l'amélioration de leur croissance, a largement contribué à l'accroissement de la tendreté au dépens de la flaveur (Sauveur, 1997). Le déterminisme génétique de la qualité sensorielle de la viande de volaille a essentiellement été étudié lors de comparaisons de souches différant par leur croissance et/ou leur composition corporelle. Tout d'abord Ricard et Touraille (1988) constatent qu'une sélection divergente appliquée sur le pourcentage de gras abdominal, modifie essentiellement les caractéristiques de la cuisse avec une viande plus ferme et de saveur plus forte chez les oiseaux les plus maigres. Ils n'observent pas de différences pour les autres qualités organoleptiques et pour la teneur en lipides intramusculaires. Aucune différence n'a été détectée par Touraille et al. (1981) et Rabot (1996) pour les qualités sensorielles de la viande de poulets abattus à 16 semaines et issus de la sélection divergente sur la croissance initiée par Ricard (1975). En fait, pour répondre aux attentes des consommateurs français qui préfèrent une viande plus ferme et de goût plus prononcé, la filière avicole a développé les productions de poulet « Label » grâce à l'exploitation de lignées à croissance plus lente qui permettent d'atteindre le poids commercial à 12 semaines au lieu de 6 semaines. Dans ce contexte de production avec contrainte sur la qualité sensorielle, la réponse fût donc de changer drastiquement de type génétique et non pas de modifier par la sélection les lignées alors exploitées en poulet standard.

2. Qualités technologiques

L'utilisation d'une proportion accrue de la viande de volaille dans les industries de découpe et de transformation conduit à étudier les possibilités d'améliorer les qualités technologiques par la voie génétique. L'aptitude la plus importante concerne le rendement lors de la transformation. La tenue et les qualités organoleptiques du produit transformé sont également à prendre en compte dans ce nouveau contexte. Le rendement technologique dépend étroitement de la capacité de rétention en eau des protéines musculaires, que ce soit au niveau de la viande fraîche vendue en barquette ou au moment de la cuisson du produit élaboré. Dans une étude menée en site industriel, Fernandez et al. (2002) ont montré le rôle prépondérant joué par l'évolution du pH post-mortem lors de la fabrication de « Blanc de Dinde » ou de « Jambon de Dinde ». Une chute trop rapide du pH conduit à des rendements à la transformation significativement plus faibles et à des pertes d'exsudat plus élevées, comme cela existe chez le porc avec les viandes PSE (pale, soft and exudative) (Sellier, 1998).

Les comparaisons de souches permettent une première approche du déterminisme génétique des qualités de la viande et des caractéristiques musculaires associées. Berri et al. (2001) rapportent chez le poulet les résultats d'une expérience de sélection divergente sur la croissance, le rendement en filet et le gras abdominal et ceux d'une comparaison d'une souche commerciale sélectionnée depuis plus de 25 ans avec une souche témoin. Les résultats de ces deux comparaisons concordent aussi bien pour les mesures de la qualité technologique que pour celles des caractéristiques musculaires. Les oiseaux avec la plus forte croissance musculaire ont une viande significativement plus claire. Alors qu'il est généralement observé une relation positive entre clarté et perte d'exsudat d'une part et une relation négative entre clarté et pH d'autre part, aucune différence de perte d'exsudat

n'est observée et la viande de ces oiseaux a un pH ultime significativement plus élevé. La différence de clarté est en partie explicable par la moindre teneur en pigments de leur muscle, qui est d'ailleurs moins rouge. Par ailleurs, du fait d'un pH plus élevé, la viande des oiseaux avec la plus forte croissance musculaire n'apparaît nullement du type PSE, comme pouvait le laisser craindre sa couleur plus pâle. Au niveau histologique Rémignon et al. (1995) et Berri (cité par Le Bihan, 2001) ont montré que la sélection pour augmenter la croissance musculaire était essentiellement due à un accroissement de la taille des fibres musculaires sans modification de leur typologie moyenne. Dans la première expérience citée, un nombre plus élevé de fibres a également été observé dans la lignée à forte croissance.

3. Paramètres génétiques

Des premières estimations des paramètres génétiques des qualités technologiques et des caractéristiques musculaires ont été obtenues par Le Bihan-Duval (2001) à partir de plus de 1000 poulets de l'expérience de sélection rapportée par Berri et al. (2001) ci-dessus. Les qualités technologiques de la viande concernaient le pH, à 15 minutes post mortem et à 24 heures, la couleur (clarté, intensités dans le rouge et dans le jaune) et la perte d'exsudat. Tous ces caractères présentent des coefficients d'héritabilité élevés, entre 0.35 et 0.57, du même ordre de grandeur que ceux des caractères de production. Des actions de sélection efficaces peuvent donc être envisagées si ces caractères sont utilisés comme critères de sélection. De très fortes corrélations génétiques ont été estimées avec le pH ultime d'une part qui s'oppose aux mesures de clarté et de perte d'exsudat d'autre part (rg=-0,91 et rg=-0,83 respectivement). Ces valeurs confirment l'impact de l'amplitude de la chute du pH post mortem sur la couleur et la capacité de rétention en eau et sont encore plus marquées que les corrélations génétiques estimées chez le porc : rg=-0,53 et rg=-0,71 en moyenne (Sellier, 1998). Une sélection sur le pH ultime représente donc un moyen sûr pour éviter l'apparition de viandes pâles et exsudatives et améliorer la capacité de rétention en eau. Le rendement lors de la cuisson de la viande de volaille étant de plus en plus important pour la filière, il est prévu de compléter la présente étude par l'estimation des relations génétiques de ce rendement technologique avec les caractères étudiés jusqu'à présent.

Les corrélations génétiques estimées sont particulièrement instructives quant aux possibilités de modifier conjointement les caractères de production et les qualités technologiques de la viande. En effet si les trois caractéristiques technologiques précédentes apparaissent pratiquement indépendantes de la croissance et du rendement en filet, elles sont génétiquement liées au potentiel génétique d'engraissement. Les oiseaux avec le plus fort potentiel d'engraissement ont un pH ultime plus bas, une viande plus claire et une plus forte perte d'exsudat : rg=-0,54 rg=0.50 et rg=0,29 respectivement. Ces estimations sont actuellement les seules disponibles et ne suggèrent donc pas d'antagonisme génétique entre caractères de production et qualité de la viande chez le poulet. Elles diffèrent notablement de ce qui se passe chez le porc où elles sont de rg=0,15 rg=-0.21 et rg=-0,10 en moyenne respectivement (Sellier, 1998). Ces valeurs très spécifiques peuvent expliquer que les lignées sélectionnées pour la croissance musculaires ne donnent pas de viande de type PSE, puisque qu'une sélection conduisant à une réduction du gras abdominal doit induire un accroissement du pH ultime du fait de la forte corrélation négative entre ces deux caractères. Ces paramètres génétiques ont toutefois été obtenus dans des conditions expérimentales favorables qui ont limité l'incidence des problèmes de qualité consécutifs à des stress avant abattage. Or en conditions industrielles d'abattage l'incidence des défauts de qualité n'est pas négligeable. L'estimation des paramètres génétiques des qualités technologiques de la viande de volaille apparaît donc nécessaire dans ces conditions industrielles. Une première étude a ainsi été menée en production de viande de dinde (Le Bihan-Duval et al., 2002). La variabilité génétique apparente de tous les caractères est plus faible qu'en conditions expérimentales, surtout pour les mesures de qualité technologique (pH et couleur) avec des h^2 inférieures à 0,20. Une corrélation génétique très fortement négative (rg = -0,80) est obtenue entre pH à 20 minutes post mortem et clarté de la viande, résultat classique décrit dans le cas du syndrome PSE. Dans cette étude également, l'augmentation du niveau génétique pour les performances de croissance et de développement musculaire n'apparaît pas associée à une dégradation de la qualité. Il est nécessaire de poursuivre ces travaux en intégrant la susceptibilité au stress qui peut interagir significativement sur l'aptitude à produire une viande de qualité.

La sélection des lapins et l'amélioration de la qualité de leur viande

La sélection des aptitudes bouchères du lapin porte actuellement principalement sur la vitesse de croissance post sevrage, c'est à dire sur une phase de croissance relativement précoce. L'héritabilité de ce caractère, environ 0.3 (revue de Khalil et al., 1986) et les différentiels de sélection applicables sont suffisamment élevés, pour obtenir des progrès génétiques significatifs dans diverses expériences de sélection (Estany et al., 1992 ; Piles et al., 2000 ; Gondret et al., 2002). La sélection a également été efficace chez les sélectionneurs. En effet, l'âge d'abattage pratiqué en France est passé de 12 semaines avant 1989 à 10 semaines actuellement, pour un poids d'abattage qui est resté d'environ 2,4 kg.

Ces expériences de sélection ont également montré qu'une amélioration génétique de la vitesse de croissance s'accompagne d'une augmentation des dépôts adipeux internes sans dégradation du rendement en carcasse, si l'âge d'abattage n'est pas modifié (Gondret et al., 2002). Or, nous avons vu que les lapins de boucherie sont abattus de plus en plus jeunes pour maintenir constant le poids d'abattage moyen. Si ce rajeunissement permet de réduire la proportion de gras interne, il induit également une dégradation du rendement en carcasse (Pla et al., 1998). Cette dégradation du rendement est liée à l'allométrie du $5^{ème}$ quartier supérieure à celle de la carcasse chez le lapereau de boucherie. Seule une sélection conjointe de la croissance et des qualités des carcasses doit permettre de concilier l'évolution génétique de ces caractères. Des études sont actuellement en cours pour développer des mesures in vivo de la composition et de la conformation corporelle (tomographie, Tobec, etc …) afin d'éviter d'avoir à pratiquer une sélection sur collatéraux abattus.

Chez le lapin il n'existe que de très rares estimations des paramètres génétiques des qualités de la viande et des caractéristiques musculaires associées dans les populations exploitées pour la production. Par contre il existe un certain nombre d'expériences de sélection dans lesquelles ont été mesurées les réponses corrélées sur les caractéristiques musculaires ou les qualités de la viande. Pla et al. (1998) et Piles et al. (2000) ont montré que lorsque la comparaison se fait à poids constant, la sélection sur la vitesse de croissance induit une réduction de la teneur en lipides intramusculaires et une augmentation du pH, corrélativement avec la réduction d'âge. Ces résultats mettent également en évidence une tendance pour des pertes d'eau à la cuisson accrues, malgré un pH plus élevé, et pour une viande plus dure, malgré l'âge plus jeune. Par ailleurs, Gondret et al. (2002) ont montré que la teneur en lipides intramusculaires ne change pas, bien que la proportion de gras péri rénal augmente lorsque la comparaison se fait à âge constant. Leurs résultats montrent que l'amélioration de la croissance musculaire est liée à une augmentation de la taille des fibres (hypertrophie) sans augmentation de leur nombre et sans modification de la proportion des différents types de fibres musculaires. Enfin aucune différence n'a été observée sur le pH final, la couleur, la capacité de rétention en eau et sur la force de cisaillement de la viande crue. Ces derniers résultats obtenus à âge constant permettent d'analyser les modifications des composantes biologiques de la croissance musculaire et devraient être complétés par des études à poids constant pour quantifier l'impact réel sur les qualités de la viande en situation de production, c'est à dire lorsqu'il faut réduire l'âge d'abattage à la suite d'une amélioration génétique de la croissance. Pour l'instant il n'existe pas de programme de détection de QTL sur les qualités de la viande, l'essentiel des efforts étant portés sur la mise au point de la mesure des caractéristiques musculaires et des qualités de la viande pour en étudier la variabilité individuelle et pour déterminer de nouveaux critères de sélection.

Si la sélection actuellement pratiquée sur la vitesse de croissance détériore les qualités des carcasses, elle ne modifie pas intrinsèquement les caractéristiques du muscle classiquement mesurées si ce n'est un accroissement de la taille des fibres musculaires. Les conséquences sur les qualités de la viande sont peu marquées, en particulier du fait d'une non dégradation du pH de la viande. Toutefois une meilleure connaissance des mécanismes biologiques mis en jeu lors de l'élaboration des qualités de la viande, combinée à l'estimation des paramètres génétiques, permettra éventuellement d'orienter la sélection vers des produits de qualité en proposant des critères de sélection appliqués.

La sélection des bovins à viande et l'amélioration de la qualité de leur viande

Les races à viande spécialisées, exploitées en race pure en France, sont essentiellement sélectionnées, à travers le contrôle de performances en ferme, sur la production de veaux sevrés, c'est à dire sur des aptitudes qui s'expriment chez l'animal jeune (croissance, morphologie) et sur des aptitudes maternelles (reproduction, allaitement). Ces aptitudes sont peu ou pas corrélées avec les aptitudes bouchères pendant l'engraissement ou à l'abattage. Seuls les taureaux d'insémination artificielle font l'objet d'une sélection sur ces aptitudes bouchères d'abord en station de contrôle individuel (croissance, efficacité alimentaire et conformation bouchère en vif), puis en station de contrôle sur descendance (croissance, rendement à l'abattage et conformation bouchère des carcasses). En utilisant des données commerciales recueillies en abattoirs, il a été montré que cette sélection était efficace pour améliorer le poids de carcasse (Fouilloux et al., 2002). En testant 60 taureaux Charolais extrêmes (30 supérieurs et 30 inférieurs) sélectionnés parmi 510 contrôlés en stations de contrôle individuel, Renand et al. (1998) ont montré qu'une sélection sur un indice combinant la croissance et l'efficacité alimentaire permettait d'améliorer la croissance musculaire sans modifier celle des dépôts adipeux. La sélection pour améliorer le rapport muscle/gras pourrait s'intensifier, si la méthode d'estimation *in vivo* de la composition corporelle basée sur la vitesse des ultrasons était effectivement mise en place (Renand et Fisher, 1997).

1. Réponses potentielles sur les qualités de la viande d'une sélection sur la croissance musculaire

Actuellement aucune évaluation et donc aucune sélection n'est réalisée sur les qualités de la viande. Faute de mesures de ces qualités il n'est pas possible de prévoir leur évolution suite à la sélection pratiquée dans les stations de contrôle individuel pour améliorer la croissance musculaire. Pour fournir des éléments de réponse,

l'expérience citée ci-dessus a été mise en place de façon à estimer les paramètres génétiques des aptitudes bouchères conjointement avec ceux de quelques caractéristiques musculaires susceptibles d'être en relation avec les qualités de la viande (Renand et al., 1994 ; Gamand, 1998). Les relations génétiques sont peu marquées avec la croissance en vif, mais nettement plus avec la composition du croît. A la vue des corrélations génétiques, une sélection pour accroître la masse musculaire au dépens des dépôts adipeux devrait se traduire par une réduction des lipides intramusculaires, des pigments et du diamètre des fibres musculaires et par une augmentation du pH et de la solubilité du collagène. Les relations avec le type de fibre sont nettement moins marquées. Quelles conséquences peuvent avoir ces modifications attendues des caractéristiques musculaires sur les qualités de la viande, sachant que seules les qualités organoleptiques sont concernées ?

Dans cette expérience les relations phénotypiques entre texture, flaveur et jutosité d'une part et les caractéristiques musculaires du muscle long dorsal d'autre part ont été évaluées (Renand et al., 2001). Ces relations sont relativement modestes puisque les coefficients de corrélation ne dépassent pas r=0,40, ce qui est généralement le cas dans ce type d'étude. Sur ces jeunes bovins de boucherie, des taurillons de 17 mois en moyenne et relativement maigres, la flaveur dépend en premier lieu de la teneur en lipides intramusculaires (r=0,35). La tendreté dépend essentiellement de deux composantes : la taille des fibres et le collagène. Des fibres de petite taille, une moindre teneur en collagène et un collagène plus soluble sont favorables à la tendreté. Une relation négative a également été mise en évidence avec le pH. Une tendance existe pour que les animaux dont le métabolisme du muscle long dorsal est plus oxydatif aient une viande qui mature moins vite et qui est donc plus dure. Enfin il n'existe aucune relation entre tendreté et lipides intramusculaires. Par ailleurs, aucune relation n'a été mise en évidence entre jutosité et caractéristiques musculaires. Ces relations ont été confirmées, quoique un peu moins marquées, dans une étude réalisée sur des jeunes bovins de races Aubrac, Gasconne et Salers (Renand et al., 2002). Ainsi, mise à part la réponse corrélée sur le pH, les relations génétiques entre composition de la carcasse et caractéristiques musculaires d'une part et les relations phénotypiques entre ces dernières et les qualités organoleptiques d'autre part, indiquent qu'une sélection pour accroître le rapport muscle/gras doit avoir un effet favorable sur la tendreté mais défavorable sur la flaveur, de même que sur la couleur.

Si l'amélioration simultanée de la croissance musculaire, de la tendreté et de la flaveur devenait une nécessité dans un nouveau contexte économique, il deviendrait indispensable de sélectionner simultanément ces aptitudes. Pour ceci il faudrait disposer de critères de sélection indirects des qualités organoleptiques puisqu'un testage sur descendants incluant des tests de dégustation serait économiquement irréalisable. Pour ceci les exemples étrangers peuvent être utiles. Malheureusement, bien qu'il existe une littérature bien documentée en Amérique du nord et plus récemment en Australie sur le déterminisme génétique des qualités de la viande conjointement aux caractères de production, il est difficile d'extrapoler leurs résultats car les qualités de la viande, tout comme leur variabilité et leurs corrélations, dépendent très fortement des conditions de production (sexe, âge, vitesse d'engraissement) et de transformation (abattage, refroidissement, maturation, cuisson).

2. Sélectionner pour améliorer la tendreté ?

La tendreté est très certainement le critère de qualité le plus important à améliorer chez les bovins. Elle diffère notablement entre muscles. Or il est difficilement envisageable d'évaluer d'autres muscles que le long dorsal qui est le muscle de référence, bien que les relations entre muscles sont loin d'être parfaites : corrélations phénotypiques de rp=0,00 à rp=0,56 pour la force de cisaillement du long dorsal avec celle de neuf autres muscles (Shackelford et al., 1995) ; corrélation génétique de rg=0,34 entre les forces de cisaillement mesurées sur le long dorsal et le semi tendineux de plus de 3700 jeunes bovins (Johnston et al., 2001). La principale source de variation de la tendreté entre muscle est liée à la teneur et à la solubilité du collagène. Pour un même muscle, mais entre animaux, Dikeman et al.,1986 ; Seideman et al., 1987 ; Whipple et al., 1990a ; Harris et al., 1992 ;Shackelford et al., 1992 ne mettent en évidence aucun effet du collagène sur la tendreté. Le fait de travailler avec des animaux castrés et avec des températures de cuisson élevées réduit très certainement l'impact du collagène sur la tendreté. Dans les études génétiques de ces pays cette composante n'est donc jamais prise en considération. Pour une production de taurillons la composante collagénique serait certainement à prendre en compte du fait de son impact sur la tendreté comme cela a été montré dans l'étude rapportée plus haut et de l'existence d'une variabilité génétique non négligeable de sa teneur et de sa solubilité (Renand et al., 1994 ; Gamand, 1998).

La tendreté de la viande mesurée soit directement par un jury de dégustation, soit indirectement par la force de cisaillement présente une variabilité génétique suffisamment élevée pour être sélectionnée : h^2= 0,20-0,25 en moyenne (revues de Bertrand et al., 2001 et de Burrow et al., 2001). Toutefois seule la mesure de la force de cisaillement pourrait éventuellement être réalisée lors d'un testage sur descendance, mais à un coût élevé. En France, au début des années 80, une mesure de la force de cisaillement sur viande fraîche était réalisée dans des programmes de testage. Bien qu'une variabilité génétique non négligeable ait été mise en évidence : h^2=0,30 (Renand, 1985) cette mesure a été abandonnée car trop coûteuse et non valorisée par la filière. Aux Etats Unis, seule la race Brahman se donne les moyens pour tester quelques taureaux sur la force de cisaillement

puisque les animaux de type *Bos indicus* ont une viande particulièrement dure comparativement aux animaux de type *Bos taurus* (Koch et al., 1982 ; Crouse et al., 1989). Ces études ont mis en évidence que l'origine de cette dureté était due à une plus forte activité de la calpastatine, un inhibiteur du système protéolytique des calpaïnes (Whipple et al., 1990b ; Shackelford et al., 1991). A la suite de ces études, une mesure de l'activité de la calpastatine a été mise au point et des paramètres génétiques estimés. Trois études présentent des héritabilités élevées : h^2=0,53 en moyenne et des corrélations génétiques élevées avec la force de cisaillement : rg=0,76 en moyenne (Shackelford et al., 1994 ; Wulf et al., 1996 ; Kim et al., 1998), alors qu'une quatrième étude a conclu qu'une telle mesure ne serait pas utile (O'Connor et al., 1997). Quoiqu'il en soit, une telle mesure n'a pas passé le stade expérimentale et n'a pas été intégrée dans les programmes d'évaluation des reproducteurs.

En Amérique du Nord, la grille de paiement des carcasses intègre une note de persillée (marbling) : les catégories de prix les plus élevées (*choice* et *prime*) correspondent aux teneurs en lipides intramusculaires les plus élevées : 5-8% et 8-11% respectivement. Cette valorisation du gras intramusculaire a comme finalité déclarée l'amélioration de la tendreté. En fait il apparaît que, si elles sont effectivement positives, les relations phénotypiques sont peu élevées entre la teneur en lipides intramusculaires ou de la note de persillé d'une part et la tendreté et la force de cisaillement de la viande d'autre part (corrélations moyennes respectives de r=0,17 et r=-0,19 citées par Renand et al., 2001). En Australie, une étude à grande échelle sur les préférences des consommateurs, a montré que le degré de satisfaction du consommateur augmente avec le persillé et que la note de tendreté bénéficie de l'appréciation favorable de la flaveur et de la jutosité lorsque le persillé est plus élevé (Egan et al., 2001). Alors que les corrélations phénotypiques sont faibles, les corrélations génétiques sont assez élevées entre la note de persillé d'une part et la note de tendreté ou la force de cisaillement d'autre part : rg=0,40 et rg=-0,55 en moyenne (Bertrand et al., 2001). A l'heure actuelle l'amélioration de la tendreté dans ces pays se base quasi exclusivement, faute de critère de sélection plus direct, sur une sélection indirecte visant à accroître la note de persillé. Le gras intramusculaire constitue en fait une garantie contre les excès de cuisson qui induisent une forte contraction des fibres musculaires et une perte d'eau élevée, d'où une moindre tendreté. Dans ces conditions plus il y a de lipides intramusculaires moins dure et moins sèche sera perçue la viande. Les tests de dégustation dans les études nord américaines ou australiennes se font avec des viande cuites à 70°C à cœur à la différence de l'étude citée plus haut où cette température était de 55°C. Des recherches sont néanmoins menées pour trouver d'autres caractères plus directement impliqués dans les phénomènes de maturation et donc dans la tendreté de la viande.

3. Sélectionner pour accroître les lipides intramusculaires ?

Les bouvillons ou bœufs des études nord américaines ou australiennes sont nettement plus gras que nos taurillons. La relation entre flaveur et lipides intramusculaires est plus faible en moyenne que dans l'étude citée plus haut r=0,16 (valeur citée par Renand et al., 2001). Cette différence peut s'expliquer par le fait que la relation entre flaveur et teneur en lipides intramusculaires est curvilinéaire. Elle n'est significativement positive que pour de faibles teneurs en lipides (Denoyelle, 1995). En Amérique du Nord et en Australie, sélectionner sur la note de persillé est largement pratiquée non seulement pour améliorer la tendreté mais aussi pour garantir une flaveur marqué.

Les carcasses étant systématiquement notées sur le persillé, les taureaux nord américains et australiens disposent d'une évaluation sur ce caractère simultanément à l'évaluation sur la carcasse. Les estimations de l'héritabilité sont plutôt élevées : h^2=0,46 en moyenne (Bertrand et al., 2001). L'amélioration conjointe de la composition des carcasses et du persillé est possible si la sélection porte sur un index combiné qui tient compte de la corrélation génétique entre ces deux caractères. Les estimées de cette dernière couvre un large spectre de valeurs avec une moyenne relativement faible en définitive : r=-0,28 (Bertrand et al., 2001). Ces auteurs rapportent par exemple qu'en race Angus des progrès génétiques positifs sont observés sur la croissance et le persillé sans modification de l'épaisseur de gras sous cutané, ni du rendement en viande maigre. Une telle note n'existe pas en France. Il faudrait donc mettre en place un dosage des lipides intramusculaires pour sélectionner les taureaux lors de leur testage sur descendance. Une alternative au dosage chimique pourrait être l'utilisation de la spectrophotométrie dans l'infra rouge comme c'est le cas en Australie (Perry et al., 2001). Afin de s'affranchir de l'étape de sélection sur descendance et accroître le nombre de taureaux évalués une méthode d'estimation du persillé *in vivo* à partir d'une échographie du muscle long dorsal a été mise au point (Herring et al., 1998 ; Hassen et al., 1999, 2001). Reverter et al. (2000) ont montré que cette mesure réalisée sur des mâles de 16 mois présentait une corrélation génétique assez élevée avec la teneur en lipides intramusculaires de bœufs apparentés abattus à 16 ou 23 mois : rg=0,54. Sapp et al. (2002) ont montré qu'une sélection phénotypique divergente sur cette mesure réalisée chez de jeunes taureaux de un an de race Angus (3,8% *vs* 1,7%) avait permis d'obtenir une réponse corrélée significative sur la note de persillé des descendants sans que le poids et l'épaisseur de gras sous cutané de ceux-ci ne diffèrent. Toutefois ces méthodes de sélection du gras intramusculaire sont appliquées sur des populations qui ont déjà des niveaux non négligeables de persillé. Comparativement, les animaux des races à viande spécialisées en France sont plus maigres. A titre de

comparaison, les taurillons des études rapportées plus haut (Renand et al., 2001 ; 2002) n'ont qu'entre 1,6% et 1,8% de lipides intramusculaires en fin d'engraissement entre 16 et 23 mois. La teneur de candidats à la sélection à 13-15 mois est certainement encore plus faible et sa mesure *in vivo* sera d'autant moins précise pour discriminer les animaux. Cette précision serait pourtant d'autant plus nécessaire qu'une sélection pour accroître les dépôts adipeux intramusculaires simultanément à la croissance musculaire devrait tenir compte d'une relation génétique assez élevée entre les premiers et l'adiposité de la carcasse (rg=0,66) telle que celle trouvée en race Charolaise (Renand et al., 1994).

4. Recherche de marqueurs moléculaires

En l'absence de critères de sélection effectivement utilisables dans les programmes d'amélioration génétiques, on peut espérer pratiquer quelque sélection sur les qualités de la viande si des marqueurs moléculaires sont mis en évidence dans les races à viande. L'exemple le mieux connu concerne l'hypertrophie musculaire (mh) chez les bovins qui a un effet marqué sur les qualités des carcasses et de la viande : rendement musculaire accru, réduction des dépôts adipeux et du squelette, viande plus claire, avec du collagène plus soluble et un plus grand nombre de fibres musculaires (Ménissier, 1982). Des mutations au sein du gène de la myostatine sur le chromosome 2 sont à l'origine de ces phénomènes (Grobet et al., 1998). La sélection directe sur ce gène est désormais possible et son exploitation ou élimination dépendent de la politique des organismes raciaux.

Le développement de la carte génétique des bovins avec l'identification de plus de 2000 marqueurs a permis la mise en place de plusieurs programmes de détection de QTL Or à ce jour seules deux équipes de l'USDA publient des résultats sur d'éventuels QTL (Keele et al., 1999 ; Stone et al., 1999 ; Casas et al., 2000 ; MacNeil et al., 2002). Des QTL potentiels sur les performances de croissance, d'abattage, de persillé et éventuellement de force de cisaillement ont ainsi détectés un peu partout sur le génôme, sans que des zones ne ressortent avec évidence si ce n'est le chromosome 5 qui apparaît impliqué dans plusieurs QTL ségréguant dans plusieurs familles de référence de ces programmes. Stone et al. (1999) notent qu'un de ces QTL est localisé sensiblement dans la même région du chromosome 5 que le gène de l'IGF1 (Kappes et al., 1997) alors que Moody et al. (1996) ont trouvé une association entre IGF1 et croissance dans une population Hereford. Les résultats des deux autres grandes expériences menées par le CSIRO en Australie et l'A&M University au Texas n'ont pas été publiés si ce n'est une communication de la première équipe sur 5 possibles QTL affectant le poids à la naissance (Davis et al., 1998). Les QTL détectés dans ces programmes ne sont pas directement utilisables car à chaque fois détectés dans des familles F2 issues de pères eux même croisés entre races différentes.

Le stade suivant est la recherche de marqueurs suffisamment proches du gène causal ou si possible celui-ci dans les races pures afin de les utiliser directement en utilisant le déséquilibre de liaison. C'est ce qui a été mis en place en Australie avec la seconde phase du programme « Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Industry » (Arthur, communication personnelle) et aux Etats Unis avec le programme « Carcass Merit Project » (Bertrand et al., 2001). Dans les deux cas il s'agit d'étudier plus finement le polymorphisme intra race de régions du génôme dans lesquelles des QTL ont été détectés. Dans le projet américain 11 QTL sont ainsi étudiés (6 pour la force de cisaillement, 3 pour le persillé, 1 pour la taille du muscle long dorsal et 1 pour la tendreté) à partir de 50 descendants de 10 taureaux. Près de 8000 descendants de pères de différentes races et engraissés dans différentes conditions ont été contrôlés dans le projet Australien. C'est ainsi que par une étude d'association, l'équipe australienne a montré que le gène de la thyroglobuline était très certainement le gène responsable du QTL sur le persillé détecté sur le chromosome 14. Ce résultat n'a pas été publié dans une revue scientifique mais breveté sous le nom de « GeneSTAR Marbling ». Cette équipe annonce la mise sur le marché prochaine d'un marqueur de la tendreté. Dans tous les cas, cette approche de génotypage sélectif permet de cerner plus précisément le gène responsable d'un QTL et sera à terme plus efficace que la démarche gène candidat. C'est ainsi que l'équipe de l'USDA de Clay Center suggère que le gène d'une protéase (CAPN1) puisse être le gène candidat pour expliquer le QTL sur la tendreté qu'ils ont détecté sur le chromosome 29 (Smith et al., 2000). Par contre, à titre d'exemple, la démarche gène candidat n'a pas permis de mettre en relation un polymorphisme au sein du gène de la calpastatine d'une part et l'activité de cette dernière et la dureté de la viande, d'autre part (Lonergan et al., 1995).

Conclusion

L'amélioration génétique des qualités de la viande doit se raisonner en fonction du système de production. Il est clair que les problèmes auxquels sont confrontés les filières ne sont pas du tout les mêmes lorsqu'il s'agit de porcs ou de volaille d'une part et de bovins d'autre part. Les premiers sont essentiellement concernés par les qualités technologiques du fait de la part prépondérante de la transformation. Des réponses génétiques à des défauts majeurs ont été apportées et le maintien d'une pression de sélection sur cette qualité est possible grâce à l'enregistrement en routine de prédicteurs de celle ci en abattoirs. Pour les qualités organoleptiques de ces deux espèces, les études portent sur la compréhension des mécanismes mis en jeu, en

particulier le rôle des lipides intramusculaires et la recherches de critères prédictifs. Dans le cas de la volaille, une première solution a consisté à mettre en place des systèmes de production drastiquement différent avec des âges d'abattage plus élevés.

Même si la qualité de la viande des lapins ne semble pas poser de problèmes suite à la sélection des caractères de production, une étude des qualités organoleptiques est engagée pour une meilleure connaissance de celles ci et l'estimation des paramètres génétiques associés. Le cas de la viande d'agneau n'a pas été traité car elle ne présente pas de problème non plus. Le gène à effet majeur sur la croissance musculaire (callipyge) n'est pas exploité dans nos races bouchères car il a des effets trop détériorateurs sur la tendreté (Koohmaraie et al., 1995).

Chez les bovins, la commercialisation de la viande en frais et le stade de maturité nettement plus avancé que dans les autres espèces placent la tendreté comme qualité prioritaire à améliorer. Ce caractère étant difficile à mesurer en routine, l'espoir réside dans la recherche de gènes marqueurs utilisables pour une sélection directe. Il est donc nécessaire de trouver un ou des gènes responsables ou des marqueurs très proches pour exploiter le déséquilibre de liaison au sein des populations exploitées en France. Toutefois cette démarche se heurte à la pauvreté des résultats publiés dans le domaine public et à la difficulté d'obtenir des données phénotypiques pertinentes pour étudier finement des régions du génôme ou tester d'éventuels gènes candidats mis en évidence dans d'autres études.

Références bibliographiques

Baas T.J., Newcom D.W., 2002. *Proc 7th World Congr. Geet.Applied Livest. Prod.*, CD-ROM, communication n°03-10.

Berri C., Wacrenier N., Millet N., Le Bihan-Duval E., 2001. *Poultry Sci*., 80, 833-838.

Bertrand J.K., Green R.D., Herring W.O., Moser D.W., 2001. *J. Anim. Sci.,* 79 E. Suppl., E190-E200.

Bidanel J.P., Rothschild M.F., 2002. *Pig News and Information*, 23, 39N-53N.

Bidanel J.P., Milan D., Renard C., Gruand J., Mourot J., 2002. *Proc 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.*, CD-ROM, communication n°03-13.

Bouffaud M., Desautes-Sawadogo C., Tribout T., Boulard J., Lagant H., Coudurier B., Sellier P., 2002. *Journées Rech. Porcine en France,* 34, 1-6.

Burrow H.M., Moore S.S, Johnston D.J., Barendse W., Bindon B.M., 2001. *Austr. J. Exp. Agric*., 41, 893-919.

Casas E., Shackelford S.D., Keele J.W., Stone R.T., Kappes S.M., Koohmaraie M., 2000. *J. Anim. Sci.*, 78, 560-569.

Christian L.L., 1972. In *Proceedings of the pork quality symposium*, ed R.G. Cassens, F. Giesler, Q. Kolb.

Crouse J.D., Cundiff L.V., Koch R.M., Koohmaraie M., Seideman S.C., 1989. *J. Anim. Sci*., 67, 2661-2668.

Davis G.P., Hetzel D.J.S., Corbet N.J., Scacheri S., Lowden S., Renaud J., Mayne C., Stvenson R., Moore S.S., Byrne K., 1996. *Proc 6th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.*, 26, 441-444.

Denoyelle C., 1995. *Viandes et Produits Carnés*, 16, 89-92.

Dikeman M.E., Reddy G.B., Arthaud V.H., Tuma H.J., Koch R.M., Mandigo R.W., Axe J.B., 1986. *J. Anim. Sci*., 63, 92-101.

Ducos A., Garreau H., Bidanel J.P., Le Tiran M.H., Breton T., Flého T., Runavot J.P., 1995. *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 135-142.

Egan A.F., Ferguson D.M., Thompson J.M., 2001. *Austr. J. Exp. Agric*., 41, 855-859.

Eikelenboom G., Minkema D., 1974. *Tijdschr.Diergeneesk.,* 99, 421-426.

Estany J., Camacho J., Baselga M., Blasco A., 1992. *Genet. Sel. Evol*., 24, 527-537.

Estrade M., Vignon X., Rock E., Monin G., 1993. *Comp. Biochem. Physiol*., 104B, 321-326.

Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., Bernard P., Gilbert S., Sirami J., Malter D., 1996. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 163-170.

Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., 1999. *Meat Sc.*, 53, 59-65.

Fernandez X., Santé V., Baeza E., Le Bihan-Duval E., Berri C., Rémignon H., Babilé R., Le Pottier G., Astruc T., 2002. *British Poultry Sci*., 43, 245-252.

Fouilloux M.N., Le Roy P., Gruand J., Renard C., Sellier P., Bonneau M., 1997. *Genet.Sel. Evol.*, 29, 357-366.

Fouilloux M.N., Renand G., Laloë D., 2001. *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 341-344.

Franck M., Monin G., Legault C., 2000. *Journées Rech. Porcine en France,* 32, 345-349.

Fujii J., Otsu K., Zorzato F, De Leon S., Khanna V.K., Weiler J.E., O'Brien P.J., Mac Lennan D.H., 1991. *Science*, 253, 448-451.

Gamand R., 1998. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, ENSA Rennes.

Gondret F., Combes S., Larzul C., de Rochambeau H., 2002. *Livest. Prod. Sci*., 76, 81-89.

Grobet L., Poncelet D., Royo L.J., Brouwers B., Pirottin D., Michaux C., Ménissier F., Zanotti M, Dunner S., Georges M., 1997. *Mamm. Genome*, 9, 210-213.

Guéblez R., Le Maitre C., Jacquet B., Zert P., 1990. *Journées Rech. Porcine en France*, 22, 89-96.

Harris J.J., Miller R.K., Savell J.W., Cross H.R., Ringer L.J., 1992. *J. Food Sci*., 57, 6-9.

Hassen A., Wilson D.E., Amin V.R., Rouse G.H., 1999. *J. Anim. Sci*., 77, 1335-1340.

Hassen A., Wilson D.E., Amin V.R., Rouse G.H., Hays, C.L., 2001. *J. Anim. Sci*., 79, 11-18.

Herring H.O., Kriese L.A., Bertrand J.K., Crouch J., 1998. *J. Anim. Sci*., 76, 364-370.

Jacquet B., Sellier P., Runavot J.P., Brault D., Houix Y., Perrocheau C., Gogué J., 1984. *Journées Rech. Porcine en France*, 16, 49-58.

Janss L.L.G., Van Arendonk J.A.M., Brascamp E.W., 1997. *Genetics*, 145, 395-408.

Johnston D.J., Reverter A., Robinson D.L., Ferguson D.M., 2001. *Austr. J. Exp. Agric*., 41, 991-996.

Judge M.D., 1972. In *Proceedings of the pork quality symposium*, ed R.G. Cassens, F. Giesler, Q. Kolb.

Kappes S.M., Keele J.W., Stone R.T., MacGraw R.A., Sonstegard T.S., Smith T.P.L., Lopez-Corrales N.L., Beattie C.W., 1997. *Genome Res*., 7, 235-249.

Karlsson A.H., Klont R.E., Fernandez X., 1999. *Livest. Prod. Sci*., 60, 255-269.

Keele J.W., Shackelford S.D., Kappes S.M., Koohmaraie M., Stone R.T., 1999. *J. Anim. Sci*., 77, 1364-1371.

Khalil M.H., Owen J.B., Afifi E.A., 1986. *Anim. Breed. Abst*., 54, 725-749.

Kim J.J., Davis S.K., Sanders J.O., Turner J.W., Miller R.K., Savell J.W., Smith S.B., Taylor J.F., 1998. *Proc 6th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod*., 25, 173-176.

Koch R.M., Dikeman M.E., Crouse J.D., 1982. *J. Anim. Sci*., 54, 35-45.

Koohmaraie M., Shackelford S.D., Wheeler T.L., Lonergan S.M., Doumit M.E., 1995. *J. Anim. Sci*., 73, 3596-3607.

Larzul C., Le Roy P., Guéblez R., Talmant A., Gogué J., Sellier P., Monin G., 1997a. *J. Anim. Breed. Genet*., 114, 309-320.

Larzul C., Lefaucheur L., Ecolan P., Gogué J., Talmant A., Sellier P., Le Roy P., Monin G., 1997b. *J. Anim. Sci.,* 75, 3126-3137.

Larzul C., Le Roy P., Sellier P., Jacquet B., Gogué J., Talmant A., Vernin P., Monin G., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 81-85.

Larzul C., Le Roy P., Gogué J., Talmant A., Jacquet B., Lefaucheur L., Ecolan P., Sellier P., Monin P., 1999. *Genet. Sel. Evol*., 31, 61-76.

Le Bihan-Duval E., Mignon-Grasteau S., Millet N., Beaumont C., 1998, *British Poultry Sci*., 39, 346-353.

Le Bihan-Duval E., 2001. Proc. *12èmes Journ. Techn*., SASSO.

Le Bihan-Duval E., Berri C., Baeza E., Millet N., Beaumont C., 2001. *Poultry Sci*., 80, 839-843.

Le Bihan-Duval E., Berri C., Baeza E., Duclos M., Santé V., Rémignon H., Le Pottier G., Bentley J., Fernandez X., 2002. *Proc 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod*., CD-ROM, communication n°11-14.

Le Roy P., Naveau J., Elsen J.M., Sellier P., 1990. *Genet. Research*, 55, 33-40.

Le Roy P., Juin H., Caritez J.C., Billon Y., Lagant H., Elsen J.M., Sellier P., 1996. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 53-56.

Le Roy P., Larzul C., Gogué J., Talmant A., Monin G., Sellier P., 1998. *Genet. Sel. Evol*., 30, 469-480.

Le Roy P., Monin G., Kerisit R., Jeanot G., Caritez J.C., Amigues Y., Lagant H., Boulard J., Billon Y., Elsen J. M., Sellier P., 2001. *Journées Rech. Porcine en France,* 33, 103-110.

Lonergan S.M., Ernst C.W., Bishop M.D., Calkins C.R., Koohmaraie M., 1995. . *J. Anim. Sci*., 73, 3608-3612.

MacNeil M.D., Grosz M.D., 2002. *J. Anim. Sci*., 80, 2316-2324.

Maignel L., Guéblez R., Bardinal M., Garreau H., Bidanel J.P., Sellier P., 1998. *Journées Rech. Porcine en France,* 30, 73-80.

Ménissier F., 1982. *Current Topics Vet. Med. Anim. Sci*., 16, 23-53.

Milan D., Le Roy P., Woloszyn N., Caritez J.C., Elsen J.M., Sellier P., Gellin J., 1995. *Genet. Sel. Evol.,* 27, 195-199.

Milan D., Jeon J.T., Looft C., Amarger V., Robic A., Thelander M., Rogel-Gaillard C., Paul S., Iannucelli N., Rask L., Ronne H., Lundström K., Reinsch N., Gellin J., Kalm E., Le Roy P., Chardon P., Andersson L., 2000. *Science*, 288, 12481251.

Monin G., Sellier P., 1985. *Meat Sci.,* 13, 49-63.

Monin G., Larzul C., Le Roy P., Culioli J., Mourot J., Rousset-Akrim S., Talmant A., Touraille C., Sellier P., 1999. *J. Anim. Sci*., 77, 408-415.

Moody D.E., Pomp D., Newman S., MacNeil M.D., 1996. *J. Anim. Sci*., 74, 1784-1793.

Naveau J., 1986. *Journées Rech. Porcine en France*, 18, 265-276.

O'Connor S.F., Tatum J.D., Wulf D.M., Green R.D., Smith G.C., 1997. *J. Anim. Sci*., 75, 1822-1830.

Ollivier L., Sellier P, Monin G., 1975. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 7, 159-166.

Perry D., Shorthose W.R., Ferguson D.M., Thompson J.M., 2001. *Austr. J. Exp. Agric*., 41, 953-957.

Piles M., Blasco A., Pla M., 2000. *Meat Sci*., 54, 347-355.

Pla M., Guerrero L., Guardia D., Oliver M.A., Blasco A., 1998. *Livest. Prod. Sci*., 54, 115-123.

Pollock D.L., 1997. *Poultry Sci*., 76, 1131-1133.

Rabot C., Rousseau F., Dumont J.P., Rémignon H., Gandemer G., 1996. *Viandes Prod. Carnés*, 17, 17-22.

Rémignon H., Gardahaut M.F., Marche G., Ricard F.H., 1995. J. *Muscle Res. Cell Motil*., 16, 95-102.

Renand G., Berge P., Picard B., Robelin J., Geay Y., Krauss D.., Ménissier F., 1994. *Proc 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod*., 19, 446-449.

Renand G., Fisher A.V., 1997. *Livest. Prod. Sci*., 51, 205-213.

Renand G., Fouilloux M.N., Ménissier F., 1998. *Proc 6th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod*., 23, 77-80.

Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. *Meat Sci*., 59, 49-60.

Renand G., Havy A., Turin F., 2002. *INRA Prod. Anim*., 15, 171-183.

Reverter A., Johnston D.J., Graser H.U., Wolcott M.L., Upton W.H., 2000. *J. Anim. Sci*., 78, 1786-1795.

Ricard F.H., 1975. *Ann. Génét. Sél. Anim*., 4, 427-444.

Sanchez M.P., Le Roy P., Griffon H., Caritez J.C., Fernandez X., Legault C., Gandemer G., 2002. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 39-43.

Sapp R.L., Bertrand J.K., Pringle T.D., Wilson D.E., 2002. *J. Anim. Sci*., 80, 2017-2022.

Saugère D., Runavot J.P., Sellier P., 1989. *Journées Rech. Porcine en France*, 21, 335-344.

Schwörer D., Hofer A., Lorenz D., Rebsamen A., 2000. *EAAP Publ*., 100, 69-72.

Seideman S.C, Koohmaraie M., Crouse J.D., 1987. *Meat Sci*., 20, 281-291.

Sellier P., 1998. In *The Genetics of the Pig*, Eds M.F. Rothschild and A. Ruvinsky, 463-510, CAB International, Oxon, U.K.

Shackelford S.D., Koohmaraie M., Cundiff L.V., Gregory K.E., Rohrer G.A., Savell J.W., 1994. *J. Anim Sci*., 72, 857-863.

Shackelford S.D., Koohmaraie M., Whipple G., Wheeler T.L., Miller M.F., Crouse J.D., Reagan J.O., 1991. *J. Food Sci*., 56, 1130-1140.

Shackelford S.D., Wheeler T.L., Koohmaraie M., 1995. *J. Anim. Sci*., 73, 3333-3340.

Sellier P., Le Roy P., Fouilloux M.N., Gruand J., Bonneau M., 2000. *Livest. Prod. Sci.,* 63, 265-274.

Smith T.P.L., Casa E., Rexroad III C.E., Kappes S.M., Keele J.W., 2000. . *J. Anim. Sci*., 78, 2589-2594.

Stone R.T., Keele J.W., Shackelford S.D., Kappes S.M., Koohmaraie M., 1999. *J. Anim. Sci*., 77, 1379-1384.

Touraille C., Kopp J., Valin C., Ricard F.H., 1981. *Arch. Geflûgelk*., 45, 69-76.

Tribout T., Garreau H., Bidanel J.P., 1996. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 31-38.

Tribout T., Lagant H., Caritez J.C., Gogué J., Gruand J., Guéblez R., Labroue F., Bidanel J.P., 2001. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 119-125.

Van Laack R.L.J.M., Stevens S.G., Stalder K.J., 2001. *J. Anim. Sci*., 79, 392-397.

Whipple G., Koohmaraie M., Dikeman R.D., Crouse J.D., Hunt M.C., Klemm R.D., 1990a. *J. Anim. Sci*., 68, 2716-2728.

Whipple G., Koohmaraie M., Dikeman R.D., Crouse J.D., 1990b. *J. Anim. Sci*., 68, 4193-4199.

Wulf D.M., Tatum J.D., Green R.D., Morgan J.B., Golden B.L., Smith G.C., 1996. *J. Anim. Sci*., 74, 2394-2405.

Génétique et Qualités des viandes

Animateurs : P. LEROY (INRA – Jouy en Josas)
et P. SELLIER (INRA – Paris)

Communications orales

CARACTERISTIQUES DES MUSCLES DE TAURILLONS ET DE VACHES DE REFORME DE QUATRE RACES BOVINES DU MASSIF CENTRAL.

B. PICARD, D. BAUCHART, J. CULIOLI*, E. DRANSFIELD*, R. JAILLER, C. JURIE, J. LEPETIT*, A. LISTRAT, A. OUALI*, S. RUDEL, Y. GEAY

Unité de Recherche sur les Herbivores

***Station de Recherche sur la Viande**

INRA, Theix, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

Les consommateurs reprochent à la viande bovine une variabilité très importante et imprévisible de sa qualité, en particulier de sa tendreté. Une part de cette variabilité provient des conditions d'abattage et de maturation de la viande, mais une autre part est liée au type génétique et aux conditions d'élevage des animaux. Dans le but de mieux comprendre le rôle de ces facteurs dans le déterminisme de la tendreté, nous nous sommes intéressés à deux types de production : des taurillons et des vaches de réforme issus de quatre races bovines du Massif Central : Aubrac, Charolaise, Limousine et Salers. L'objectif finalisé était d'adapter au mieux la conduite des animaux à leur race pour élaborer des muscles aux caractéristiques favorables à l'obtention d'une viande de bonne qualité sensorielle.

Matériel et méthodes

Animaux : 84 taurillons (T) des 4 races ont été achetés à l'âge de 9 mois, conduits dans des conditions identiques et abattus à 15, 19 et 24 mois (soit 28 animaux par tranche d'âge, 7 de chaque race). Les vaches de réforme (VR) ont été abattues à même état d'engraissement (note de 3,5 estimée par palpation) dans les tranches d'âges : 4-5, 6-7 et 8-9 ans après une période d'engraissement variant de 1 à 28 semaines. Tous les animaux ont reçu la même ration à volonté constituée de pulpes de betterave surpressées et ensilées (85%) et complémentée par du maïs grain, du tourteau de soja et de l'urée. Après l'abattage à l'abattoir expérimental du Centre INRA de Clermont-Ferrand/Theix, la composition de la carcasse (os, muscle, gras) a été estimée à partir de la dissection de la sixième côte selon Robelin et Geay (1975). Trois muscles ont été prélevés : *Longissimus thoracis* (LT, faux-filet), *Semitendinosus* (ST, rond de gîte) et *Triceps brachii* (TB, boule de macreuse).

Mesures : des échantillons prélevés dans l'heure suivant l'abattage et stockés à –80° C ont été utilisés pour l'analyse des propriétés contractiles et métaboliques des muscles et pour les mesures de la teneur en protéasome 20S, en calpaïnes 1 et 2 et en calpastatine (uniquement sur le muscle LT). D'autres échantillons prélevés 24 heures après l'abattage ont servi aux dosages de lipides intramusculaires (totaux, triglycérides, phospholipides), de collagène (teneur et solubilité thermique), aux mesures mécaniques (test de compression à 1 et 14 jours de maturation sur viande crue et chauffée à 70° C pendant 1h30; test de cisaillement à 14 jours sur viande crue), à l'analyse sensorielle (sur viande grillée, température interne 55 à 60° C) par un panel de 12 dégustateurs entraînés.

Analyses statistiques : les effets de l'âge, du muscle, de la race, et les interactions entre les différents facteurs ont été analysés par une analyse de variance selon la procédure GLM de SAS (1985).

Résultats

Le poids final des animaux, leur poids vif vide ainsi que la composition de la carcasse montrent des différences significatives entre races pour les deux types de production (Tableau 1). Ces différences sont plus marquées chez les vaches que chez les taurillons. Globalement, le poids final et le poids vif vide sont les plus élevés pour les animaux charolais. Le poids de muscle est supérieur pour les deux races à viande (Charolaise et Limousine), surtout chez les vaches de réforme. Enfin, les animaux limousins se distinguent par les plus faibles dépôts adipeux.

		Aubrac	Charolais	Limousin	Salers	SEM
Taurillons	Poids final	784 ^{d}	834 ^{e}	779 ^{d}	786 ^{d}	16
	Poids vif vide	711 ^{a}	736 ^{b}	714 ^{ab}	709 ^{a}	15
	Muscle carcasse	340 ^{a}	340 ^{a}	358 ^{b}	317 ^{c}	11
	Dépôts adipeux carcasse	86 ^{a}	95 ^{b}	82 ^{a}	95 ^{b}	5
	Squelette carcasse	65 ^{a}	68 ^{b}	62 ^{c}	68 ^{b}	2
Vaches de réforme	Poids final	668 ^{d}	780 ^{e}	669 ^{d}	694 ^{d}	22
	Poids vif vide	582 ^{d}	660 ^{e}	590 ^{d}	604 ^{d}	17
	Muscle carcasse	242 ^{d}	279 ^{e}	268 ^{e}	243 ^{d}	9
	Dépôts adipeux carcasse	83 ^{a}	93 ^{b}	73 ^{c}	89 ^{ab}	6
	Squelette carcasse	55 ^{a}	66 ^{b}	55 ^{a}	59 ^{c}	2

Tableau 1 : Moyennes ajustées et écarts types (kg) de la moyenne (SEM) des caractéristiques zootechniques des taurillons et des vaches de réforme. Des lettres différentes sur une même ligne indiquent des différences significatives à $P<0,05$ (a, b, c) et $P<0,001$ (d, e).

Tous muscles confondus et sur l'ensemble des caractéristiques mesurées, les différences les plus marquées entre races, se retrouvant dans les deux types de production, concernent les propriétés métaboliques des muscles (activité ICDH : T : P<0,05 ; VR : P<0,001 – activité LDH : T : P<0,01 ; VR : P<0,001) et les propriétés thermiques du collagène (teneur en collagène insoluble : T : P<0,05 ; VR : P<0,05). Ce sont les animaux limousins qui se différencient le plus des autres avec des muscles plus glycolytiques et moins oxydatifs, les différences étant plus marquées chez les vaches que chez les taurillons. De plus, leur teneur en collagène insoluble est plus faible. La teneur des muscles en lipides totaux (P<0,05) et triglycérides (P<0,05) ne présente de différences entre races que chez les vaches, les valeurs étant les plus faibles chez les Limousines et les plus élevées chez les Aubracs. La teneur en calpaïne 1 mesurée uniquement dans le muscle LT, est significativement supérieure en race limousine (T : P<0,10 ; VR : P<0,5). La teneur en calpaïne 2 est également supérieure chez les Limousins, mais la différence n'est significative que pour les taurillons (P<0,01). Le rapport calpaïne/calpastatine diffère entre les animaux charolais et limousins, les valeurs étant les plus faibles en race limousine et les plus élevées en race charolaise (P<0,05). De plus, la force de cisaillement est la plus faible (sur viande crue à J14) en race limousine, chez les taurillons (P<0,10). De façon intéressante, la force de compression sur viande crue apparaît différente entre les races 24 heures après l'abattage (T : P<0,001 ; VR : P<0,10), alors qu'elle n'est pas différente après 14 jours de maturation (T : P<0,10 ; VR : P=0,23).
Malgré les quelques différences de caractéristiques des muscles observées, la qualité sensorielle n'est pas significativement différente entre les quatre races pour les deux types de production et quel que soit le muscle considéré : tendreté globale (T : P=0,33 ; VR : P=0,07) ; jutosité (T : P=0,95 ; VR : P=0,46) ; flaveur (T : P=0,11 ; VR : P=0,56).

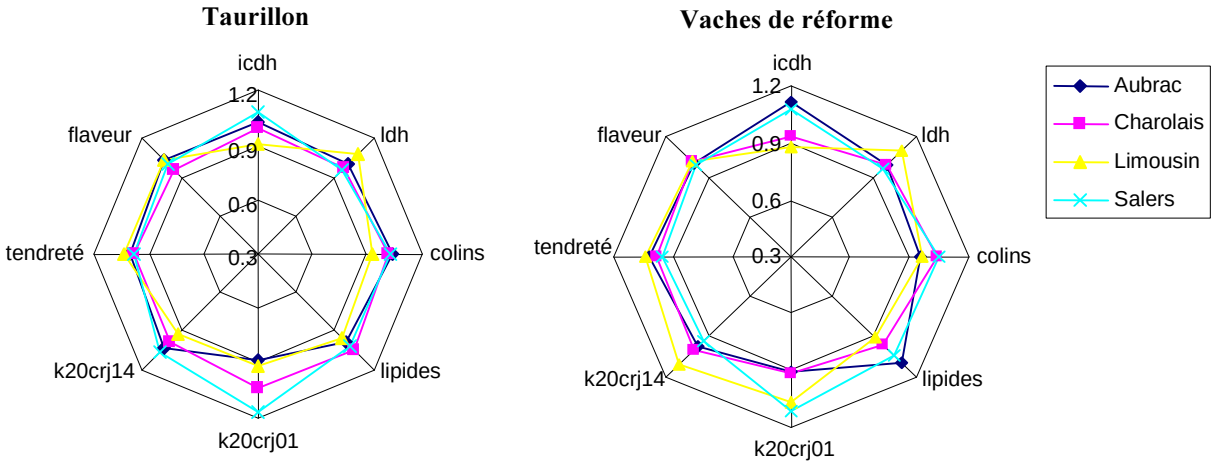


Figure 1 : Représentation graphique des moyennes par race pour les variables centrées normées.
Icdh = isocitrate déshydrogénase ; ldh = lactate déshydrogénase ; colins = collagène insoluble ; k20crJ01 et k20crJ14 = force de compression sur viande crue à 1 et 14 jours après abattage.

Conclusion
Ces résultats montrent que des animaux de différentes races élevés ou engraissés dans des conditions identiques présentent des différences significatives de poids et de composition de la carcasse. Cependant, peu de différences marquées se retrouvent au niveau des caractéristiques des muscles de ces animaux. Les principales différences concernent le type de muscle qui est plus glycolytique chez les races à viande et plus oxydatif chez les races rustiques. Il est intéressant de noter que les différences pour les mesures mécaniques observées à l'abattage ou après un jour de maturation disparaissent après 14 jours. En particulier, les animaux limousins, dont les caractéristiques musculaires différentes des autres races sont favorables à une vitesse de maturation supérieure, ne montrent pas de qualités sensorielles différentes des autres races après 14 jours de maturation.

Références
Robelin J., Geay Y. (1975) Estimation de la composition des carcasses de jeunes bovins à partir de la composition d'un morceau monocostal prélevé au niveau de la 11ème côte. Ann. Zootech., 24 , 391-402.
SAS (1985) Guide for personal computers. Version 6. Edition. SAS Institue INC., Box 8000, Cary, North Carolina : 27511-28000.

Remerciements
Nous remercions le Commissariat au Développement Economique et à l'Aménagement du Massif Central pour le financement de ces travaux, le personnel de l'Installation Expérimentale de l'URH pour la conduite des animaux, le personnel de l'abattoir pour l'abattage dans des conditions parfaitement contrôlées, l'ensemble du personnel technique de l'URH et de la SRV qui a réalisé les prélèvements et les analyses des échantillons.

GENES DU DEVELOPPEMENT MUSCULAIRE ET DES QUALITES DE LA VIANDE BOVINE

V. AMARGER, L. BREMAUD, D. DELOURME, F. GRANDJEAN, P. PELISSIER, P. RAYNAUD, L. ROUHAUD, R. JULIEN, H. LEVEZIEL
Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, INRA/Université de Limoges, Limoges

Introduction

Les consommateurs de viande bovine demandent de plus en plus activement aux producteurs et transformateurs des produits dont les qualités, en particulier organoleptiques ou hygiéniques, sont bien établies et constantes dans le temps. Il s'avère donc nécessaire pour mieux définir et maîtriser ces caractères, ou même les améliorer, de développer des recherches destinées à élaborer de nouveaux outils moléculaires.

Plusieurs approches peuvent être utilisées, systématiques car appréhendant l'ensemble du génome comme dans le cas des programmes de détection de QTL et de séquençage d'ADNc, ou plus raisonnées car se focalisant sur quelques gènes particuliers dont la structure et la fonction sont étudiées de manière approfondie. Plusieurs niveaux d'investigation peuvent être considérés, selon que sont mises en œuvre des méthodes d'analyse des gènes (génome), de leurs transcrits (transcriptome), ou de leurs produits (protéome). Ces diverses approches et méthodes, souvent employées de manières alternatives ou du moins déployées de manière séquentielle, sont en réalité complémentaires. Seule leur utilisation « intégrée » conduira à une meilleure compréhension des mécanismes biologiques étudiés et de leurs contrôles.

Nos travaux ont pour objectifs de contribuer à la connaissance des mécanismes, génétiques ou épigénétiques, qui seraient responsables de la variabilité génétique existante au sein des populations bovines. A cet effet, la structure, les fonctions (expression et régulation) et les polymorphismes des gènes suivants sont étudiés : (i) les gènes impliqués dans la voie de transduction du signal de la myostatine, produit du gène *GDF8*, dont des mutations déterminent dans certaines races le phénotype hypermusclé (mh), (ii) l'homologue bovin du gène *PRKAG3* dont une mutation (RN) est responsable chez le porc d'une perte de rendement au niveau de la production du jambon cuit et salé, et (iii) des gènes impliqués dans la maturation *post-mortem* du muscle en viande et contrôlant des inhibiteurs de protéases comme la calpastatine, inhibiteur des calpaïnes, ou une serpine isolée du muscle bovin, inhibitrice de sérines protéases.

Matériel et méthodes

La partie codante des gènes étudiés a été obtenue par amplification PCR à l'aide d'amorces déduites des séquences disponibles dans les bases de données, en particulier celles issues des programmes de séquençage systématique d'étiquettes bovines (ESTs) ou des projets génomiques humain ou murin. L'étude approfondie de la structure des gènes et de leurs polymorphismes a été réalisée par RT-PCR, et par analyse de BACs et séquençage. Les BACs ont été isolés par PCR, à partir d'une banque de grands fragments d'ADN génomique bovin, au Centre de Ressources Agenae (INRA, Jouy-en-Josas).

Les échantillons biologiques (ADN génomique, ARN totaux, extraits protéiques) ont été obtenus à partir de prélèvements réalisés sur des bovins abattus à l'abattoir de Limoges ou à l'abattoir expérimental du Centre INRA de Clermont-Ferrand/Theix. Des échantillons d'ADN génomique d'animaux génotypés (porteurs de mutations ou non) pour le gène *GDF8* et de phénotypes caractéristiques (fort développement musculaire ou non), en particulier de race Bazadaise, ont été sélectionnés par F. Ménissier (SGQA, INRA, Jouy-en-Josas) et mis à notre disposition par LABOGENA (Jouy-en-Josas). L'anticorps anti-myostatine a été produit par Agro-Bio (La Ferté St Aubin) en immunisant un lapin avec un peptide recombinant produit dans notre laboratoire. Les anticorps anti-calpastatine et anti-serpine, produits respectivement contre un peptide de synthèse et contre l'anti-protéase purifiée, nous ont été fournis par A. Ouali (SRV, INRA, Theix).

Résultats

Identification de nouveaux gènes impliqués dans le fort développement musculaire des bovins.

Diverses mutations du gène *GDF8* sont responsables d'une hypertrophie musculaire (Grobet *et al*., 1997) due à une augmentation du nombre de myoblastes lors du développement embryonnaire. Cependant, dans diverses populations bovines, des animaux présentant un développement musculaire remarquable ne possèdent aucune des mutations connues de *GDF8*. De ce fait, d'autres gènes, notamment ceux impliqués dans la voie de transduction du signal de la myostatine, pourraient intervenir dans le développement musculaire. Ainsi, deux approches complémentaires sont développées :

- l'étude de deux gènes candidats : (i) *ACTRIIB* qui code une sous-unité du récepteur liant l'activine et la myostatine, deux ligands très proches, et (ii) *FST,* qui code la follistatine, une protéine susceptible d'être impliquée dans la régulation de la concentration extracellulaire de la myostatine. Ces gènes dont la structure a été établie sont prioritairement exploités pour la recherche de polymorphismes associés au phénotype de fort développement musculaire dans une population d'animaux remarquables ;

- l'utilisation de myostatine bovine recombinante et d'un anticorps anti-myostatine afin d'identifier les partenaires protéiques de la myostatine au sein de la cellule musculaire. L'un d'entre eux, isolé par immuno-

purification, sera microséquencé et une stratégie directe de clonage des gènes correspondants sera mise en place, en préalable à l'étude des polymorphismes dans la population d'animaux remarquables sélectionnés.

Caractérisation du gène bovin *PRKAG3*, gène majeur de la qualité de la viande chez le porc

Une mutation du gène (mutation RN) est responsable chez le porc d'une perte de rendement au niveau de la production du jambon cuit et salé (Milan *et al*., 2000). Ce phénomène est dû à un taux de glycogène musculaire excessivement élevé résultant d'un changement de l'activité de l'enzyme AMPK. Cette enzyme joue un rôle clé dans le métabolisme énergétique et contrôle l'état des réserves glucidiques et lipidiques du muscle dont dépendent les caractéristiques nutritives et gustatives d'une viande. Compte tenu des connaissances acquises chez le porc, une étude des gènes codant les différentes sous-unités de l'enzyme AMPK a été entreprise dans le muscle bovin.

Le gène bovin *PRKAG3*, codant une isoforme spécifique du muscle squelettique de la sous unité régulatrice γ de l'AMPK, a été entièrement sequencé et divers polymorphismes affectant la composition de la protéine ont été mis en évidence. Il convient maintenant d'établir une corrélation entre ces polymorphismes, la structure et l'activité de la protéine, et d'éventuelles caractéristiques de la viande bovine.

Gènes et maturation post mortem des viandes bovines

Nos travaux portent sur deux systèmes protéases/anti-protéases :

Le système calpaïne-calpastatine : la calpastatine, inhibiteur des calpaïnes, régule l'activité des protéases. Elle intervient au cours de la protéolyse typique de la maturation des viandes. Plusieurs transcrits du gène *CAST,* codant la calpastatine, ont été décrits chez les bovins, ovins ou porcins, mais ces données demeurent préliminaires en l'absence d'une connaissance précise de la structure du gène. Chez l'homme, le gène comporte au moins 28 exons répartis sur plus de 80 kb. Une étude du gène bovin a été entreprise pour établir sa structure, à partir de l'analyse des transcrits et à partir de l'analyse de BACs. La structure du gène bovin, établie par notre laboratoire, comporte au moins 34 exons et s'avère très comparable à celle du gène humain. Plusieurs épissages alternatifs jamais décrits auparavant ont été identifiés. La recherche de polymorphismes est engagée et les travaux consisteront à établir les liens avec l'existence d'isoformes protéiques pouvant avoir des activités inhibitrices variables.

Le système sérine protéases-serpines : l'étude moléculaire d'un inhibiteur de sérine protéase, purifié et caractérisé à partir de muscle squelettique bovin par l'équipe de A. Ouali (INRA, SRV, Theix), a été entreprise. Le gène codant cet inhibiteur, de la famille des serpines, a été identifié et séquencé. Il est constitué de 4 exons et 3 introns, et l'étude des régions promotrices est actuellement en cours. L'organisation structurale, identique à celle du gène codant la serpine A3 humaine (*SERPINA3*), suggère qu'il appartient comme chez l'homme à une famille multi-génique. L'étude des ARN révèle la présence d'un seul type de transcrit s'exprimant dans le muscle. A l'inverse, plusieurs ARNm sont observés dans d'autres tissus. Par ailleurs, un complexe, formé entre cette anti-protéase et sa cible potentielle, est mis en évidence spécifiquement dans les muscles squelettiques. L'identification de cette protéase, de même qu'une étude de cette famille multi-génique, constituent les perspectives prioritaires dans la poursuite de ce travail

Conclusion

Les travaux sont entrepris pour identifier et analyser les gènes impliqués dans le développement, la croissance et le métabolisme du muscle, et dans sa maturation *post-mortem* en viande. Nous avons acquis des informations sur des gènes (*ACTRIIB*, *FST*) de la voie de transduction du signal de la myostatine, sur le gène *PRKAG3*, homologue bovin du gène RN porcin, et sur des gènes d'inhibiteurs de protéase (*CAST* et serpine). Après avoir déterminé la structure de ces gènes, les efforts portent notamment sur la recherche de polymorphismes et pour certains (myostatine, serpine) sur la caractérisation de partenaires moléculaires. Il conviendra d'établir les relations entre ces données et les caractéristiques des muscles ou des viandes, en particulier en étudiant des animaux aux phénotypes remarquables pour les divers caractères. Nos travaux visent à élaborer des outils moléculaires utilisables dans le génotypage des reproducteurs. Ils aideront à prédire leurs performances, notamment pour la production de viande de qualité, et ils permettront la prise en compte de ces informations dans les programmes de sélection.

Références

Grobet L., Martin L.J., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Ménissier F., Massabanda J., Fries R., Hanset R., Georges M. (1997). A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscled phenotype in cattle. *Nat. Genet*., 17, 71-4.

Milan D., Jeon J.T., Looft C., Amarger V., Robic A., Thelander M., Rogel-Gaillard C., Paul S., Ianucelli N., Rask L., Ronne H., Lundstrom K., Reinsch N., Gellin J., Kalm E., Le Roy P., Chardon P., Andersson L. (2000). A mutation in *PRKAG3* associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science*, 288, 1248-1251.

Remerciements

Nous remercions les personnes ayant contribué à nos travaux en mettant à notre disposition des échantillons biologiques (F. Ménissier, SGQA, INRA, Jouy-en-Josas ; J.F. Hocquette et R. Jailler, URH, INRA, Theix) et les anticorps anti-calpastatine ou anti-serpine (A. Ouali, SRV, INRA, Theix). P. Raynaud bénéficie d'une bourse INRA/Région Limousin et L. Rouhaud d'une bourse Région Limousin (FSE).

ETUDE DU TRANSCRIPTOME DU MUSCLE POUR L'IDENTIFICATION DE GENES DETERMINANT LES CARACTERISTIQUES MUSCULAIRES ET LES QUALITES SENSORIELLES DE LA VIANDE BOVINE

K. SUDRE[1], I. CASSAR-MALEK[1], C. LEROUX[1], A. LISTRAT[1], C. JURIE[1], G. RENAND[2], P. MARTIN[3], J.F. HOCQUETTE[1]

INRA, [1]Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, [2]Station de Génétique Quantitative et Appliquée, et [3]Laboratoire de Génétique Biochimique et Cytogénétique, 78352 Jouy-en-Josas;

Introduction

La consommation de viande bovine a diminué d'environ 20% depuis 1985. Ceci s'explique en partie par la concurrence sévère des viandes blanches, par une mauvaise image de la viande bovine (crise de la "vache folle", etc…) et par l'insatisfaction que ressent le consommateur face à la grande variabilité, non maîtrisée, des qualités sensorielles de la viande. Celles-ci dépendent des conditions d'abattage et des procédés de transformation mais aussi des caractéristiques biologiques du muscle (fibres, tissu adipeux, trame conjonctive). Le mode d'élevage (vitesse de croissance, nutrition, âge) et le type génétique des animaux (race, etc…) sont d'une importance primordiale pour maîtriser ces caractéristiques musculaires et ainsi assurer aux consommateurs une viande aux qualités constantes et élevées [1]. Toutefois, le déterminisme des critères des qualités sensorielles de la viande est multifactoriel, et les caractéristiques musculaires analysées à ce jour n'expliquent pas complètement la variabilité de ces critères [2]. Aussi, notre principal objectif est-il de mettre en évidence de nouvelles caractéristiques musculaires explicatives de cette variabilité. En dehors de situations bien particulières (bovin culard, …), les caractéristiques musculaires dépendent généralement de l'expression de nombreux gènes. La connaissance de ces gènes, de leurs profils d'expression et de leurs facteurs de régulation est donc nécessaire pour mieux orienter la sélection et optimiser les conditions d'élevage des bovins. En effet, il est important de préciser les relations entre le potentiel de croissance et les caractéristiques qualitatives du muscle pour rechercher le meilleur compromis en terme de sélection entre le développement musculaire et la qualité de la viande. De plus, dans le contexte de la crise récurrente touchant la filière bovine, il est essentiel de bien valoriser l'alimentation à base d'herbe, surtout dans le Massif Central où l'élevage et le pâturage tiennent une place socio-économique majeure. Nos objectifs sont donc : 1) d'identifier et d'analyser des gènes déterminant les caractéristiques musculaires et les qualités sensorielles de la viande, 2) de mettre en relation ces données avec des phénotypes divergents de potentiel de croissance, d'alimentation et de qualité des viandes, 3) d'en tirer des conséquences pratiques pour l'amélioration des schémas de sélection et des conditions d'élevage.

Matériel et méthodes

Schémas expérimentaux: Deux muscles (un muscle oxydatif, le *rectus abdominis* [RA] et un muscle glycolytique, le *semitendinosus* [ST]) d'animaux aux caractéristiques divergentes en terme de type génétique ou de conditions d'élevage sont étudiés dans deux modèles: (i) deux groupes extrêmes de six taurillons de 15-19 mois issus de deux lignées divergentes sélectionnées sur la base de leur potentiel de croissance (Dispositif Vachotron II) ; (ii) des bœufs de 30 mois recevant une alimentation soit à base d'herbe (n = 8) soit à base d'ensilage de maïs (n = 8). Dans les deux modèles, les caractéristiques biochimiques et métaboliques des muscles, et en particulier des fibres et de la trame conjonctive sont étudiées comme décrit par Listrat et al.[3].

Etude du transcriptome du muscle de bovin : Pour étudier le transcriptome du muscle de bovin nous avons, dans un premier temps, utilisé des filtres à haute densité sur lesquels étaient fixés 1339 fragments d'ADNc musculaires humains [4]. Dans un deuxième temps, nous avons produit un répertoire d'ADNc de muscles de bovin que nous avons fixé sur des lames de verre. Pour cela, une banque d'ADNc a été construite à partir d'un pool de muscles bovins oxydatifs ou glycolytiques prélevés à différents âges fœtaux ou post-nataux. Les ADNc ont été insérés de façon orientée dans un véhicule de clonage. De plus, 77 ADNc correspondant à des gènes importants pour la biologie du muscle ont été préparés individuellement par RT-PCR avec des amorces spécifiques. Pour l'établissement des profils expressionnels, nous avons extrait les ARN totaux de tous les échantillons (deux muscles par animal). Des pools représentatifs ont été constitués en mélangeant les ARN par muscle et par groupe d'animaux. Pour les hybridations sur lames, les ARN totaux ont été marqués par incorporation de Cy3-dCTP ou Cy5-dCTP lors de la rétrotranscription. Pour les hybridations sur membranes, les ARNm ont été purifiés, puis marqués par incorporation de [α^{33}P]dATP lors de la rétrotranscription.

Résultats

Caractéristiques des animaux et de leurs muscles :

Les taurillons à fort potentiel de croissance du dispositif Vachotron II ont un poids de muscle dans la carcasse 27% plus élevé et une proportion de tissu adipeux 28% plus faible que ceux présentant un faible potentiel de croissance ($P < 0.01$). Ils tendent à avoir des muscles moins oxydatifs (activité citrate synthase plus faible) sans modification des caractéristiques du collagène (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des muscles des deux lignées divergentes de taurillons

	Fort potentiel de croissance		Faible potentiel de croissance			Signification	
[a, b c,] : $P < 0.05$	RA	ST	RA	ST	SEM	Type	Muscle
Activité ICDH (oxydative), µmoles/min/g frais	1.39^{b}	1.14^{b}	1.90^{a}	1.40^{b}	0.147	0.21	**0.03**
Activité CS (oxydative), µmoles/min/g frais	1.98^{c}	2.52^{bc}	3.93^{a}	3.35^{ab}	0.293	**0.004**	0.95
Activité LDH (glycolytique), µmoles/min/g frais	933^{b}	1176^{a}	900^{b}	1075^{a}	42.7	0.47	**0.0006**
Collagène total, µg OH-proline/mg poids sec	6.03	5.18	5.17	5.52	0.391	0.55	0.54
Solubilité du collagène (%)	25.3	23.1	24.1	17.1	4.600	0.38	0.33

Les bœufs au pâturage présentent des teneurs en collagène insoluble plus faibles dans le ST (-15%, $P < 0.05$) et un métabolisme musculaire plus oxydatif dans le RA (activités citrate synthase [CS] et isocitrate déshydrogénase [ICDH] 19-46 et 25-30% plus élevées respectivement ; $P < 0.05$) [3].

Etude du transcriptome : Les hybridations sur les filtres contenant des ADNc humains ont permis d'obtenir 1232 signaux d'hybridation dont plus de 500 exploitables et 344 retenus pour la comparaison du transcriptome entre les échantillons. Trente quatre gènes apparaissent différentiellement exprimés dans le RA et/ou le ST entre les taurillons à faible (-) ou fort (+) potentiel de croissance (Tableau 2). Les différentiels d'expression de certains de ces gènes sont en cours de validation par Northern-blot. L'implication de ces gènes dans les mécanismes déterminant les critères des qualités de la viande reste à préciser.

Tableau 2 : Exemple de gènes différentiellement exprimés entre les deux types génétiques	**ratio -/+**
thyroid hormone receptor interacting protein 10 (TRIP10)	50.8
annexin A5 (lipocortin 5, endonexin 2)	18.7
LIM protein	11.4
sarcosin	7.2
titin	4.1
heat shock protein 90a (hsp90a)	3.6
tumor suppressor involved in B-CLL (LEU5)	1.7
protein phosphatase 1, subunit 12B, myosin phosphatase target subunit 2	0.6
NADH dehydrogenase Fe-S protein 3	0.6

Sur les 1440 clones séquencés de la banque d'ADNc construite, 1019 correspondent à des séquences exploitables appartenant à plusieurs grandes familles : gènes mitochondriaux (133), gènes spécifiant des protéines ribosomales (100), etc… Un total de 353 ADNc issus de cette collection a été retenu ainsi que 77 ADNc spécifiquement amplifiés par RT-PCR pour créer un répertoire de 430 ADNc. Ce dernier a été déposé sur lames de verre et hybridé avec des ARN issus des muscles des taurillons à fort (+) ou faible (-) potentiel de croissance. En moyenne, 60% des signaux d'hybridation obtenus sont supérieurs à 2 fois le bruit de fond, indiquant que ce répertoire constitue un premier outil spécifique utilisable pour l'étude du transcriptome du muscle de bovin. L'analyse du transcriptome des muscles des taurillons et des bœufs alimentés à l'herbe ou au maïs est en cours.

Conclusion et perspectives

Les résultats présentés ici, ayant principalement porté sur la mise en place de schémas expérimentaux sur animaux, sur l'utilisation de filtres à haute densité disponibles et sur la construction de collections d'ADNc correspondant à des gènes bovins, représentent une première étape importante sur la voie de l'analyse du transcriptome du muscle de bovin. Ils s'inscrivent dans une démarche qui vise à intégrer un maximum d'informations depuis le gène jusqu'au muscle, dans la perspective de mettre en évidence de nouvelles caractéristiques musculaires déterminantes pour les qualités sensorielles de la viande bovine. Ces nouvelles caractéristiques seront ultérieurement analysées par des approches biochimiques classiques et viendront compléter des recherches de polymorphismes (programme GEMQUAL) et des travaux en protéomique engagés par ailleurs à l'INRA.

Références : [1] Geay Y, Bauchart D, Hocquette JF, Culioli J. 2002. INRA Prod. Anim. 15, 37-52. ; [2] Renand G, Picard B, Touraille C, Berge P, Lepetit P. 2001. Meat Sci. 59, 49-60 ; [3] Listrat A, Jurie C, Cassar-Malek I, Bouhraoua L, Picard B, Micol D, Hocquette JF 2001. French-Polish Symposium. Paris (France), 25-26 Sept 2001. ; [4] Sudre K, Leroux C, Petit E, Renand G, Cassar-Malek I, Auffray C, Piétu G, Martin P, Hocquette JF, 2000. Viandes Prod. Carnés, Hors Série, 77-80.

Remerciements : Ces travaux ont été soutenus par le programme AGENAE (Analyse du GEnome des Animaux d'Elevage). Les auteurs remercient le personnel du Domaine Expérimental du Pin au Haras et de l'abattoir pour la conduite et l'abattage des animaux, le personnel de l'URH et du LGBC pour les analyses, le laboratoire de C Auffray (CNRS, Villejuif) pour l'accès aux filtres à haute densité de muscles humains, et la Société DIAGNOGENE (plate-forme transcriptome de Clermont-Ferrand) pour l'amplification et le spottage des clones.

ETUDE ANATOMIQUE DES LESIONS DANS LE JAMBON DE PORC DESTRUCTURE

E. LAVILLE, M. FRANCK (1), M. SIDIBE, T. SAYD, J.M. BONNY, J.F. CHAZEIX et G. MONIN

Station de Recherches sur la Viande-INRA, 63122 Saint-Genès-Champanelle, (1) ENV-Lyon, 69280 Marcy-l'Etoile

Introduction

On sait que les viandes déstructurées sont favorisées par les stress subis par les animaux avant et surtout pendant l'abattage (Franck et al., 2000, 2002). Nous avons fait l'hypothèse qu'entraver étroitement les animaux en leur liant les membres pendant quelques minutes serait un stress suffisant pour provoquer l'apparition de lésions de viande déstructurée. Ce mode de stress comporte une composante physique (effort musculaire) et une composante émotionnelle (frayeur, excitation). Pour faire la part de chacune de ces composantes, nous avons comparé les effets de ce traitement à ceux d'une infusion de succinylcholine. La succinylcholine est un curarisant ; les animaux sont donc dans l'incapacité de produire une contraction musculaire, mais sans perte de conscience, ce qui constitue une situation considérée comme émotionnellement très pénible.

Par ailleurs, Franck et al. (2000) ont montré que l'apparition de lésions de viande déstructurée est favorisée par la présence de l'allèle n du gène HAL et par le développement musculaire. Nous avons donc utilisé des porcs variant par le génotype au locus HAL (NN et Nn) et le développement musculaire (Large White x Landrace et Piétrain).

Matériel et méthodes

L'expérimentation a porté sur 40 porcs de trois génotypes : Large White x Landrace, Piétrain NN et Piétrain Nn, et deux sexes : mâles entiers et femelles. Les animaux ont été transportés avec le minimum possible de stress jusqu'à l'abattoir expérimental distant de 0,5 km de la porcherie et soumis aux traitements suivants :

1, abattage immédiat; **2**, infusion de succinylcholine pendant 12 min puis abattage immédiat; **3**, entrave des quatre membres pendant 12 min puis abattage immédiat; **4**, entrave des quatre membres pendant 12 min suivie d'un repos de 3 h avant l'abattage.

A 1 heure *post mortem*, des prélèvements de muscle ont été effectués dans la région superficielle proximale caudale du muscle *semimembranosus*. La typologie contractile des muscles a été étudiée par électrophorèse des chaînes lourdes de la myosine (MHCIIB, MHCIIX, MHCI). A 24 heures *post mortem*, les faces dorsales, latérales et internes des demi-carcasses ont été photographiées. Des mesures linéaires et angulaires ont été réalisées sur les images des carcasses. Le jambon gauche a été tronçonné en quatre tranches d'égale épaisseur perpendiculairement au fémur (figure 1). Sur les faces proximales de ces quatre tranches, l'étendue des lésions a été relevée sur un transparent; la somme des surfaces lésées a été rapportée à la somme des surfaces totales des quatre tranches.

Le développement transversal des muscles du jambon droit a été mesuré sur des images obtenues à l'aide d'un appareil de résonance magnétique nucléaire (CHU Clermont Ferrand). Ces mesures ont été réalisées à trois niveaux : la moitié, le ¼ proximal et le ¼ distal du fémur.

Résultats

Anatomie des lésions. La viande déstructurée se distingue de la viande saine par sa couleur plus claire et une texture filandreuse. Parmi les 40 animaux, 17 ont présenté des lésions (tableau 1). Le test statistique du Khi2 n'a pas permis de mettre en évidence un effet significatif du traitement, du génotype ou du sexe sur la fréquence d'apparition des lésions. Les lésions sont plus étendues chez les Piétrains hétérozygotes Nn que chez les Piétrains NN, ce qui confirme des résultats de Franck et al. (2000).

Les lésions sont plus développées dans la moitié proximale du fémur, ce qui correspond à la région dans laquelle les masses musculaires sont les plus épaisses (figure 1). Les muscles les plus touchés sont l'*adductor* (ad), le *semimembranosus* (sm) et le *biceps femoris* (bf), (figure 2). , les lésions apparaissant le plus souvent centrées autour des artères et veines fémorales profondes de la cuisse (figure 3). Sur la face antérieure du membre, les muscles *rectus femoris* (rf) et *vastus lateralis* (vl) ont présenté des lésions qui s'étendent depuis la région proche de l'os le long de la limite entre les deux muscles (figure 3), dans une zone proche du passage du rameau caudal des artères et veines circonflexes iliaques. Les lésions sont peu fréquentes dans les autres muscles et présentes seulement dans les jambons les plus touchés.

Morphométrie des carcasses. Les mesures de conformation des carcasses et des jambons après ajustement au poids de carcasse montrent des différences entre les porcs LW x Ld et Piétrain. Le dos et le jambon des Piétrains sont plus courts. Leur dos est plus large. Le rebondi musculaire des jambons (angle et surfaces de section des muscles) est supérieur. Quelle que soit leur localisation anatomique dans le jambon, tous les muscles montrent un plus fort développement. Les différences de morphologie entre les Piétrains NN et Nn ne sont pas significatives. Pour les 17 animaux présentant des zones déstructurées, l'allongement du jambon est corrélé négativement (-0.48) à l'étendue des lésions.

Mesures biochimiques. Les muscles sm des porcs Piétrains NN sont plus riches en myosine de type IIX. On observe une corrélation positive (0.57) entre la MHCI et le taux de déstructuration.

Conclusions

Les traitements auxquels les animaux ont été soumis avant l'abattage ne semblent pas avoir été les facteurs déclenchants des lésions puisque les témoins ont une fréquence de lésions équivalente voire supérieure à celle des animaux traités. En revanche, l'entrave et l'injection de succinylcholine semblent conduire à une augmentation de l'étendue des lésions, bien que la variation ne soit pas statistiquement significative. L'allèle n du gène HAL semble prédisposer à l'augmentation à la fois de la fréquence et de l'étendue des lésions.

L'étendue des lésions n'apparaît pas liée à une hypertrophie musculaire mais plutôt à une diminution de la longueur du membre et de ses muscles. Le lien entre l'étendue des lésions et la proportion de fibres de type lentes oxydatives doit être confirmé. La localisation anatomique des lésions permet de poser l'hypothèse d'une déficience associée à l'appareil circulatoire.

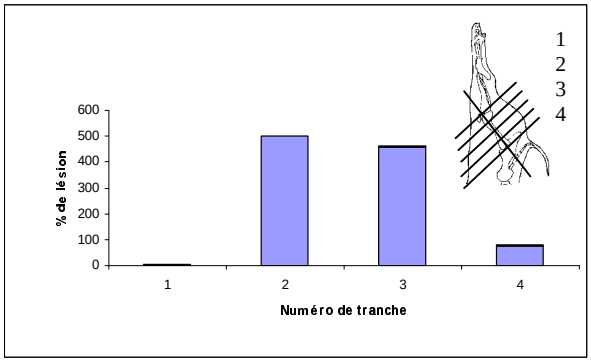


Figure 1 – Distribution des lésions dans les quatre niveaux de coupe des jambons

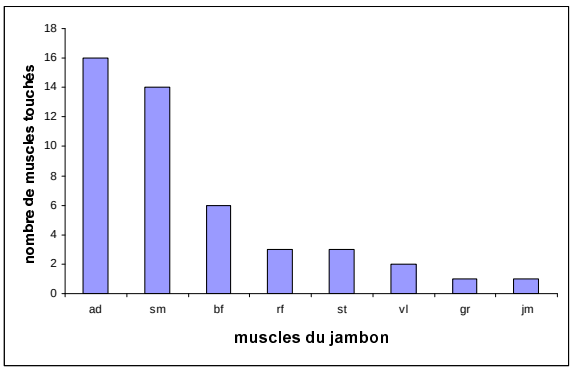


Figure 2 – Fréquence des lésions dans les muscles du jambon

Figure 3 – Distribution des lésions dans la section transversale du jambon

Facteurs		Effectifs	Nb jambons lésés	Etendue des lésions (N=17)	Valeur de P
traitement	1	12	6	3.3	0.22
	2	8	5	7.6	
	3	10	4	7.5	
	4	10	2	12.3	
sexe	M	13	5	5.2	0.53
	F	27	12	7.2	
génotype	Lw x Ld	16	3	7.5 [ab]	0.10
	P NN	13	6	2.8 [a]	
	P Nn	11	8	9.2 [b]	

Tableau 1 – Effet des facteurs de variation sur la fréquence et l'étendue des lésions

[ab] les moyennes dont les indices diffèrent dans une même colonne, pour un facteur, sont différentes ($p<0.05$)

Références

Franck M., Monin G., Legault C., 1999. J. Rech. Porcine en France, 32, 345-350..

Franck M., Svensson G., Von Seth G., Josell A., Figwer P., Poirel M.T., Monin G., 2002. Meat Sci., in press.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme AQS 00 P0577 du Ministère de la Recherche "Approches explicatives, diagnostique et préventive des viandes déstructurées dans la filière porcine" en collaboration avec l'ITP, le CTSCCV et l'ENV-Lyon (responsable scientifique Gabriel Monin, INRA).

QUALITE TECHNOLOGIQUE DE LA VIANDE DE POULET EN RELATION AVEC LE MODE DE PRODUCTION

C. BERRI, E. LE BIHAN-DUVAL, E. BAEZA, P. CHARTRIN, M. QUENTIN, L. PICGIRARD[1], N. JEHL[2], M. DUCLOS
INRA, SRA, Nouzilly, [1]ADIV, Clermont-Ferrand, [2]ITAVI, Paris, France

Introduction

La production de poulet représente 50% de la production avicole nationale. Elle progresse globalement depuis quelques années avec une diversification qualitative des produits à la fois par le développement de différents modes de production (standards (64%), labels (28%), certifiées (7%), biologiques (1%)) et de présentation, dont les morceaux découpés (33 %) et les produits transformés (15%). Cette orientation vers des produits faciles à préparer répond à la demande des consommateurs (Magdelaine et Philippot, 2000, Viandes et Produits Carnés, 21(1) : 31-37) et concerne l'ensemble des modes de production. L'objectif de la présente étude est de caractériser la qualité technologique de la viande issue des types génétiques utilisés pour les productions label, certifiée et standard afin d'orienter la filière dans ses choix des conditions de production et des génotypes les mieux adaptés aux différents modes de commercialisation.

Matériel et méthodes

Cette étude a porté sur des mâles issus de croisements commerciaux à croissance lente (L), intermédiaire (C) et rapide (S) produits par Hubbard-ISA. Ils ont été élevés à la Station de Recherches Avicoles (SRA) en claustration, en respectant l'alimentation et les densités classiques pour ces différentes productions. Soixante-quatre poulets par croisement ont été abattus à la SRA à leur âge classique de commercialisation de 6, 8 et 12 semaines pour les types L, C et S respectivement. Un lot de standard (S) a aussi été abattu à 7 semaines afin d'évaluer les conséquences sur la qualité de la viande d'un alourdissement des animaux. Les carcasses ont été conservées au froid (2°C) pendant 24 h puis disséquées pour mesurer les rendements par rapport au poids vif en filets, cuisses et gras abdominal. Nous avons mesuré les pH à 15 minutes et 24 h *post-mortem* (PM), la couleur (L*, a*, b*) des muscles *Pectoralis superficialis* (PS) et *Iliotibialis* (IT) ainsi que la perte en eau entre 24 et 72 h PM des filets et des cuisses. Un filet et une cuisse par poulet ont été congelés 24 h PM puis conservés à –20°C jusqu'à transformation par saumurage-cuisson respectivement en blancs et jambons de poulet (1 fabrication/lot réalisée à l'ADIV de Clermont-Fd). Le process de fabrication limitait l'apport d'adjuvant et était identique pour les 4 types de production. Les rendements technologiques, la composition chimique et le profil sensoriel de ces produits ont été déterminés. L'effet du type de production a été testé par analyse de variance et les moyennes comparées par le test de Newman-Keuls. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a aussi été réalisée.

Résultats

1- Critères de qualité de la viande fraîche

Les caractéristiques pondérales des différents croisements de poulets sont données dans le tableau 1 (poulets standards à croissance rapide de 6 semaines : S6, de 7 semaines : S7, à croissance intermédiaire de 8 semaines : C8, à croissance lente de 12 semaines : L12).

Tableau 1 : Poids vifs et rendements (en % du poids vif)

	S6	S7	C8	L12	P
Poids vif (g)	$2495{,}7 \pm 231{,}7^{d}$	$3018{,}0 \pm 200{,}6^{a}$	$2649{,}9 \pm 161{,}9^{c}$	$2877{,}5 \pm 144^{b}$	***
% de filet	$16{,}86 \pm 1{,}38^{b}$	$17{,}53 \pm 1{,}64^{a}$	$15{,}65 \pm 0{,}91^{c}$	$14{,}34 \pm 0{,}87^{d}$	***
% de cuisse	$24{,}34 \pm 1{,}80^{a}$	$24{,}83 \pm 1{,}17^{a}$	$24{,}51 \pm 0{,}90^{a}$	$24{,}78 \pm 1{,}20^{a}$	NS
% gras abdominal	$2{,}60 \pm 0{,}60^{c}$	$2{,}73 \pm 0{,}65^{c}$	$3{,}20 \pm 0{,}64^{b}$	$3{,}56 \pm 0{,}85^{a}$	***

[a-d] Les moyennes avec des lettres différentes dans la même ligne diffèrent ; NS = non significatif ; ***P<0,0001

Il existait des différences de métabolisme *post-mortem* entre types génétiques (Tableau 2). Quel que soit le muscle, les poulets L12 se distinguaient par une vitesse et une amplitude de chute de pH plus élevées. Au sein des poulets à croissance rapide, les muscles des animaux âgés de 7 semaines se différenciaient de ceux de 6 semaines par une chute de pH initiale plus rapide et un pH ultime plus faible.

Tableau 2 : Chute de pH *post-mortem* des muscles *Pectoralis superficialis* (PS) et *Iliotibialis* (IT)

	S6	S7	C8	L12	P
pH 15 min PS	$6{,}67 \pm 0{,}13^{a}$	$6{,}44 \pm 0{,}12^{c}$	$6{,}55 \pm 0{,}14^{b}$	$6{,}22 \pm 0{,}17^{d}$	***
pHu (24h PM) PS	$6{,}03 \pm 0{,}12^{a}$	$5{,}80 \pm 0{,}11^{b}$	$5{,}78 \pm 0{,}08^{b}$	$5{,}66 \pm 0{,}12^{c}$	***
pH 15 min PS	$6{,}57 \pm 0{,}07^{a}$	$6{,}38 \pm 0{,}08^{b}$	$6{,}59 \pm 0{,}07^{a}$	$6{,}31 \pm 0{,}07^{c}$	***
pHu (24h PM) PS	$6{,}43 \pm 0{,}15^{a}$	$6{,}10 \pm 0{,}13^{d}$	$6{,}36 \pm 0{,}13^{b}$	$6{,}15 \pm 0{,}14^{c}$	***

[a-d] Les moyennes avec des lettres différentes dans la même ligne diffèrent ; NS = non significatif ; *** P<0,0001

Les filets des animaux à croissance lente se distinguaient par une couleur plus sombre, plus rouge et moins jaune que ceux des autres croisements (Tableau 3). La viande de la cuisse de ces poulets était à la fois moins rouges et moins jaunes que celle des autres types génétiques. Les pertes en eau au ressuage des filets étaient plus élevées chez les animaux L12 et C8 que chez les poulets S6 ou S7. Pour ces derniers, seule une différence d'exsudat était observée, les poulets de 7 semaines présentant des viandes moins exsudatives que les poulets de 6 semaines.

Tableau 3 : Couleur et exsudat des muscles *Pectoralis superficialis* (PS) et *Iliotibialis* (IT)

		S6	S7	C8	L12	P
PS	Luminance L*	$52,6 \pm 2,0^{a}$	$52,0 \pm 2,0^{a}$	$52,8 \pm 2,1^{a}$	$50,8 \pm 2,9^{b}$	**
	Rouge a*	$-0,4 \pm 0,7^{b}$	$0,0 \pm 0,8^{b}$	$0,0 \pm 0,8^{b}$	$0,4 \pm 1,4^{a}$	***
	Jaune b*	$9,1 \pm 1,3^{ab}$	$9,7 \pm 1,3^{a}$	$9,2 \pm 1,6^{ab}$	$8,5 \pm 2,2^{b}$	**
	Exsudat (%)	$1,23 \pm 0,70^{b}$	$0,56 \pm 0,32^{c}$	$1,46 \pm 0,60^{a}$	$1,64 \pm 0,67^{a}$	***
IT	Luminance L*	$49,7 \pm 3,9$	$50,1 \pm 3,9$	$50,7 \pm 3,5$	$49,3 \pm 2,9$	NS
	Rouge a*	$2,1 \pm 1,3^{a}$	$1,7 \pm 1,4^{ab}$	$1,3 \pm 1,2^{bc}$	$1,1 \pm 1,0^{c}$	***
	Jaune b*	$7,1 \pm 2,4^{b}$	$8,6 \pm 2,1^{a}$	$6,9 \pm 2,2^{b}$	$4,0 \pm 2,9^{c}$	***
(cuisse)	Exsudat (%)	$0,50 \pm 0,16^{a}$	$0,23 \pm 0,12^{c}$	$0,33 \pm 0,10^{b}$	$0,36 \pm 0,18^{b}$	***

$^{a-c}$ Les moyennes avec des lettres différentes dans la même ligne diffèrent. **P < 0,01 ; ***P < 0,001

L'ACP a montré que dans le filet, l'indice de rouge a* s'opposait à la fois au pH15 (-0,40) et au pHu (-0,30). La luminance L* était associée positivement au pH15 (+0,38) et l'exsudat négativement au pH15 (-0,23) et au pHu (-0,28). Ces relations n'étaient pas retrouvées dans la cuisse. Les indices de couleur L* et a* étaient opposés dans la cuisse (-0,48) et dans le filet (-0,42), signifiant qu'une diminution de l'indice du rouge était associée à une augmentation de la clarté de la viande. L'ACP a par ailleurs révélé qu'au sein d'un même muscle les valeurs de pH15 et de pHu étaient reliées (+0,48 dans le filet, +0,65 dans la cuisse) et qu'il existait une corrélation très fortement positive entre les mesures de pH15 (+0,71) ou de pHu (+0,51) de la cuisse et du filet.

2- Rendements technologiques et qualité des produits transformés

Les produits issus des animaux à croissance lente présentaient des rendements technologiques largement inférieurs aux produits provenant des poulets à croissance rapide (Tableau 4). Ceci est vraisemblablement à relier à leur vitesse et/ou amplitude de chute de pH supérieures susceptibles d'abaisser leur pouvoir de rétention en eau. Ces différences de comportement à la cuisson se répercutaient sur leur composition (Tableau 4), leur aspect et, dans le cas des filets, leur texture. L'analyse sensorielle a montré que les blancs fabriqués à partir des filets des poulets L12 apparaissaient moins humides, avaient une texture plus sèche et une tenue de tranche supérieure. Les jambons fabriqués à partir des cuisses de ces mêmes animaux se distinguaient seulement sur leur aspect moins humide. Les produits issus de poulets L12 se caractérisaient aussi par une teinte plus soutenue et rosée. Les produits issus de poulets C8 présentaient des caractéristiques technologiques et sensorielles intermédiaires entre celles des produits fabriqués à partir de viandes provenant des poulets à croissance lente et rapide. Par rapport aux animaux S6, les poulets S7 présentaient des rendements technologiques inférieurs.

Tableau 4 : Rendements technologiques (% viande fraîche) et composition des blancs et jambons de poulets

		S6	S7	C8	L12
Blanc	Rendement technologique (%)	106.8	105.7	103.8	100.4
	Humidité Produit Dégraissé (%)	75	74.9	74.6	73.9
	Protéine (%)	22.1	21.2	22.1	22.6
Jambon	Rendement technologique (%)	104.5	101.5	100.8	98.4
	Humidité Produit Dégraissé (%)	78.5	77.9	77.4	76.1
	Protéine (%)	17.7	17.9	18.3	20

Conclusions

Cette étude a montré des différences importantes entre types de production du métabolisme *post-mortem* des muscles qui se répercutaient sur leurs propriétés de rétention d'eau à l'état frais mais surtout au cours des procédés de transformation en blancs et jambons de poulets. Par rapport aux poulets standards à croissance rapide, la viande des poulets à croissance lente présentait des rendements à la transformation inférieurs mais se démarquait par la qualité sensorielle des produits transformés. La viande des poulets croisés (C8) présentait des caractéristiques technologiques et sensorielles généralement intermédiaires entre celles provenant des poulets à croissance lente et rapide. L'ensemble de ces résultats mériteraient d'être confirmés dans les conditions réelles de production, notamment avec l'accès au parcours pour les poulets à croissance lente.

Remerciements. Cette étude a bénéficié du soutien de l'OFIVAL et du sélectionneur Hubbard-ISA (Chateaubourg, France). Nous remercions Thierry Bordeau et Nicole Millet pour leur assistance technique et le personnel de l'Unité Expérimentale Avicole pour l'élevage des animaux.

SELECTION SUR LE POIDS A 63 JOURS : QUELLES CONSEQUENCES POUR LA QUALITE DE VIANDE DE LAPIN?

C. LARZUL[1], F. GONDRET[2], S. COMBES[3], L. CAUQUIL[3], H. DE ROCHAMBEAU[1]
[1]INRA, SAGA, BP 27, 31326 Castanet Tolosan ; [2]UMRVP, 35590 Saint Gilles ;[3]SRC, BP 27, 31326 Castanet Tolosan

Introduction

Chez le lapin, avec le développement de l'insémination artificielle et l'amélioration des conditions d'élevage, l'accroissement du poids des mâles terminaux, donc la sélection sur leur vitesse de croissance, n'est plus limité.
Les expériences de sélection sur le poids à âge fixe ou sur le gain de poids ont montré leur efficacité pour accroître la vitesse de croissance du lapereau de boucherie (Rochambeau, 1997). Cependant les conséquences de cette sélection sur les caractéristiques bouchères et surtout sur les caractéristiques du muscle et de la viande restent largement à déterminer. Or, dans la mesure où le poids de la carcasse commercialisée doit rester constant, l'augmentation de la vitesse de croissance peut entraîner une réduction de l'âge d'abattage, et conduire à une détérioration de la qualité de la viande. A l'inverse, les animaux peuvent être aussi abattus à âge constant pour produire des lapins plus lourds pour le marché de la découpe ou du désossage, mais certains défauts de qualité de conformation ou de qualité de viande peuvent alors également apparaître.
Cette étude établit chez le lapin l'effet de la sélection sur le poids à 63 jours sur les caractéristiques bouchères et sur quelques caractéristiques de la viande chez des animaux abattus soit à âge constant, soit à poids fixé.

Matériel et méthodes

Les animaux. Les animaux ont été obtenus à partir d'une lignée de mâles terminaux sélectionnés sur la croissance (Grimaud Frères). Ils ont été introduits à l'INRA sur le domaine expérimental de Langlade par adoption de lapereaux après hystérectomie des femelles. Ces animaux ont été considérés comme les animaux fondateurs de l'expérience de sélection F0.
La sélection. Les animaux sont sélectionnés sur leur poids vif mesuré à 63 jours, afin de produire deux lignées divergente : lignée Haute (**H**) à vitesse de croissance rapide et lignée basse (**B**) à croissance lente. L'âge a été choisi en fonction d'un critère déjà appliqué sur les lignées femelles sélectionnées conjointement sur la taille de portée et sur le poids. De plus, il convenait de sélectionner les animaux sur une base qui soit proche des pratiques en vigueur pour la sélection des lignées de mâles terminaux. La description de l'expérience de sélection est donnée par Larzul et al. (2000). Par ailleurs, des embryons issus de la génération fondatrice avaient été congelés. Ils ont été décongelés, et des descendants ont été produits de manière contemporaine aux deux autres lignées pour constituer une lignée témoin (**T**).
Les mesures. Deux bandes de lapins ont été abattus successivement. La première bande, constituée de 120 lapins (40 animaux de chaque lignée), a été abattue à l'âge de 63 jours (Larzul et al., 2000). La deuxième bande (195 animaux, n = 65 dans chaque lignée) a été abattue au poids fixe de 2350 g, en deux séries d'abattage. Les animaux de la lignée B ont été abattus à 63 et 66 jours d'âge, les animaux de la lignée T à 57 et 60 jours, et les animaux de la lignée H à 51 et 54 jours. Le jour de l'abattage, les animaux ont été pesés puis conduits à l'abattoir expérimental de l'INRA (15 km). Ils ont été électronarcosés (6s 90V), puis immédiatement saignés. Les carcasses ont été conservées à 4°C jusqu'au lendemain. Les carcasses ont été découpées selon les recommandations de Blasco et al. (1993). Le rendement de la carcasse a été estimé comme le rapport de la carcasse froide sur le poids au départ de l'élevage. Pour estimer l'adiposité de la carcasse, nous avons pesé le gras interscapulaire et périrénal, prélevé sur la carcasse froide. Le pH a été mesuré au niveau de la 5ème vertèbre et sur le biceps femoris. La couleur a été mesurée simultanément avec un Chromamètre Minolta sur le muscle Longissimus dorsi en surface et au niveau de la coupe fraîche, et sur le biceps femoris. Le pH a également mesuré à 48 heures post mortem sur le muscle semitendineux, après broyage dans l'iodo acétate.
Les analyses statistiques. Les analyses ont été effectuées en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS. Pour les animaux abattus à âge fixé, les effets retenus dans le modèle ont été la lignée et le sexe. Pour les animaux abattus à poids fixé, les effets retenus dans le modèle ont été l'écart de poids par rapport à la moyenne en covariable, la lignée, le sexe et la série d'abattage.

Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 1. Dans les deux cas, les animaux témoins sont intermédiaires entre les deux autres lignées. A âge constant, hormis l'effet significatif de la lignée sur le poids à 63 jours, les seuls effets significatifs apparaissent sur les pourcentages de gras interscapulaire et périrénal (lignée B moins grasse) et sur l'indice de rouge de la surface du LD (lignée H moins rouge). A poids constant, des effets significatifs apparaissent sur le rendement, le pH et les paramètres de couleur. Les animaux de la lignée T sont généralement au même niveau que l'une ou l'autre lignée, la différence étant le plus souvent significative entre les lignées extrêmes. Ainsi, comparativement à la lignée B, les animaux de la lignée H présentent un rendement en carcasse

inférieur, des valeurs de pH ultimes dans les muscles de la cuisse (BF et ST) plus faibles . La couleur des muscles dans la lignée H est plus claire (valeur L plus élevée) et d'intensité plus jaune (coefficient b* plus élevé) que dans la lignée B.

Discussion-et conclusion

La sélection sur le poids vif à 63 jours a entraîné une augmentation du poids d'abattage à âge fixé. Conformément aux résultats précédemment trouvés dans ces lignées, les animaux les plus lourds sont également les plus gras (Larzul et al., 2001) sans qu'il y ait de conséquences ni sur le rendement de carcasse, en accord avec Su et al. (1999), ni sur la qualité de la viande. Ainsi, l'augmentation du poids d'abattage à âge constant n'a que peu d'incidence sur les caractéristiques qualitatives des lapins. En revanche, le rajeunissement des lapins à poids d'abattage constant conduit à une modification visible de certains critères de qualité de la viande. A l'heure actuelle, dans la filière lapin, il n'y a pas de tendance au rajeunissement des lapereaux abattus. Les animaux, qui sont des animaux croisés, sont abattus à un poids d'environ 2,45 kg à 70 jours pour ne pas pénaliser la qualité de viande. L'effort porte essentiellement sur l'augmentation du rendement de carcasse à âge constant.

Références

Blasco A., Ouhayoun J., Masoero G., 1993: Harmonisation of criteria and terminology in rabbit meat research. World Rabbit Science, 1, 3-10.

Larzul C., Gondret F., Combes S. (2001). Sélection sur le poids à 63 jours: quelles conséquences pour les caractéristiques bouchères? 9èmes Journées de la Recherche Cunicole, 28-29 Novembre, Paris

Larzul C., Gondret F., Combes S., Garreau H., Rochambeau H. De, 2000. Divergent selection on 63-day body weight in rabbit. *7th World Rabbit Congress*, A 443-448.

Rochambeau de H. 1997 : Genetics of the rabbit for meat production: what's new since the world rabbit congress held in Budapest in 1988? A review. World Rabbit Science, 5, 77-82.

SAS, 1990. SAS User's guide : Statistics. 6th edn. SAS Institute Inc, Cary, NC.

Su, G., Kjaer, J.B., Brenøe, U.T., Sørensen, P., 1999: Estimates of genetic parameters in Danish white rabbits using an animal model: I. Growth and carcass traits. World Rabbit Science, 7, 59-64.

Tableau 1 Différences entre les lignées haute, témoin et basse pour les caractéristiques de carcasse et de viande

	Age constant					Poids constant				
	Effet		Moyennes[1]			Effet		Moyennes[1]		
Caractère	lignée[2]	sexe	Basse	Témoin	Haute	lignée[2]	sexe	Basse	Témoin	Haute
Poids 63 jours (g)	***	NS	2348 a	2636 b	2821 c					
Carcasse froide (%)	NS	*	56.2	56.9	56.6	***	**	58.08a	56.53b	56.13b
Gras interscapulaire (%)	**	NS	0.53 a	0.68 b	0.61b	NS	NS	0.55	0.61	0.57
Gras périrénal (%)	*	NS	1.54 a	1.79 ab	1.98 b	NS	NS	1.75	1.73	1.65
pH BF	NS	NS	5.87	5.87	5.88	*	NS	5.99 ab	6.02 a	5.94 b
pH LD	NS	*	5.73	5.73	5.74	NS	NS	5.74	5.74	5.75
pH ST	NS	*	6.11	6.12	6.08	***	NS	6.13 a	6.11 a	6.01 b
L* BF	NS	*	53.8	53.2	52.9	*	***	54.4 a	54.5 a	55.4b
L* LD section	NS	**	56.7	57.5	56.8	***	*	58.22 a	58.99 a	60.46 b
L* LD surface	NS	NS	56.6	56.7	57.1	NS	NS	57.63	57.72	58.22
a* BF	NS	NS	4.60	4.49	4.03	NS	NS	4.01	4.19	4.08
a* LD section	NS	**	3.93	3.78	3.74	*	NS	3.25a	3.91b	3.86b
a* LD surface	*	*	4.33a	4.13a	3.57b	NS	NS	3.73	4.15	4.15
b* BF	NS	**	4.39	4.22	3.78	*	**	3.93 a	4.46 b	4.65 b
b* LD section	NS	**	3.84	4.03	4.30	***	*	3.98 a	4.45 b	5.00 b
b* LD surface	NS	**	0.70	0.90	0.33	NS	NS	1.09	1.30	1.25

[1]:Moyennes (« Lsmeans ») pour les lignées basse, témoin et haute;

[2]: Probabilité que la différence entre lignées soit nulle (*** P<0.001, ** P< 0.01, * P< 0.05, NS : effet non significatif).

RESISTANCE MECANIQUE DE LA VIANDE PAR LA METHODE DE COMPRESSION CHEZ LES OVINS : EFFETS DE LA RACE, DU POIDS AU SACRIFICE ET DE LA MATURATION

MARTÍNEZ-CEREZO, S., SAÑUDO, C. et OLLETA, J.L.
Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria de Zaragoza.
C/ Miguel Servet, 177. 50013 Zaragoza, Espagne.

Introduction

La demande de viande de qualité par les consommateurs est toujours plus importante. Un des aspects les plus importants de cette qualité est la tendreté, et il est donc nécessaire d'étudier les facteurs qui peuvent avoir une influence sur la texture de la viande (Sañudo *et al.*, 1998). Pour cela, on a besoin d'une méthode pour déterminer si une viande est tendre ou pas et, comme les tests de consommateurs et sensoriels sont très chers, il n'est pas possible de les utiliser couramment. Pour cette raison, l'application des techniques instrumentales pour mesurer la texture est d'une grande importance, mais ces techniques instrumentales sont connues pour leur difficulté à évaluer la tendreté de la viande avec elles (Culioli, 1994).

Matériel et méthodes

On a utilisé 180 agneaux mâles de trois races ovines espagnoles (Rasa Aragonesa : race à viande, Churra : race laitière et Merino Espagnol), qui ont été sacrifiés à trois poids vifs (10-12 kg, 20-22 kg et 30-32 kg), avec 20 animaux pour chaque lot race-poids de sacrifice. Les agneaux de 10-12 kg ont été sacrifiés dans leurs région d'origine, pour éviter l'effet cumulatif du stress du sevrage, du transport et du sacrifice, qui pourrait modifier la texture de la viande (Apple *et al.*, 1995). Les autres agneaux ont été séparés en deux groupes selon le poids de sacrifice recherché et engraissés avec du concentré et de la paille *« ad libitum »*. Une fois atteint le poids de sacrifice, ils sont conduits à l'abattoir. Les carcasses ont été réfrigérées pendant 24 heures et les échantillons ont été pris sur chaque demi-carcasse. On a pris la région T9-T13 du muscle *Longissimus thoracis* pour cet essai. Cette portion du muscle a été mise sous vide et maturée pendant 1, 2, 4, 8 ou 16 jours à 3º C. Après la maturation, les échantillons ont été congelés et stockés à –20º C jusqu'au moment de l'analyse. Les portions T9-T13 ont été décongelées avec de l'eau courante le jour de l'essai. On a fait des morceaux rectangulaires dans une direction parallèle aux fibres musculaires avec 1 cm de côté et 2-3 cm de longueur. L'essai a été réalisé avec une cellule de compression dans un appareil INSTRON, pour l'obtention de la compression à différents niveaux (20%, 40%, 60%, 80% et maximum). Les résultats ont été analysés avec la procédure GLM du programme statistique SPSS 8.0, et le test de Duncan a été utilisé pour comparer les moyennes.

Résultats et discussion

D'après les chiffres du tableau 1, on peut voir que les effets (race, poids et maturation) ont une influence significative sur les résultats : si l'effet du poids est très important pour les deux valeurs de compression (C20, C80), l'effet de la maturation est plus important pour une compression à 20 %, et l'effet de la race pour une compression à 80 % (Campo *et al.*, 2000). Il n'y a pas eu d'interactions significatives entre les effets.

Dans la **compression à 20 %** (tableau 2.), la viande des agneaux légers (1 mois d'âge), surtout dans la race Merino, a une valeur de compression plus grande que chez les animaux de poids moyens ou lourds, spécialement à courte maturation, car les animaux très jeunes ont une activité enzymatique réduite (Sañudo *et al.*, 2000), et aussi parce que le temps de maturation tend à réduire les différences entre les populations. Dans les animaux légers, la compression à 20 % ne fait pas apparaître des différences entre les races. Pour toutes les races et poids de sacrifice, sauf pour la Rasa Aragonesa légère, la résistance se réduit quand le temps de maturation est supérieur (Lepetit *et al.*, 1986).

Dans la **compression à 80 %** (tableau 2.), la viande des animaux légers est moins résistante que celle des animaux de poids moyens, qui à son tour est moins résistante que la viande des animaux lourds pour une même maturation : cela peut être dû à une plus grande proportion de collagène soluble chez les agneaux plus légers (Bailey and Light, 1989). La race Churra a des valeurs plus grandes de compression, sauf chez les agneaux lourds avec maturation courte. En général, il n'y a pas de changement dans la résistance avec la maturation pour C80.

Tableau 1. Signification et valeurs de F pour la résistance mécanique (cellule compression) de la viande d'ovins, selon les facteurs étudiés: race, poids au sacrifice et maturation.

		RACE (R)	POIDS (P)	MATURATION (M)	R x P	R x M	P x M	R x P x M
C20	F	3.30	19.22	30.84	1.70	0.96	1.41	1.12
	Sig.	*	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C80	F	21.54	10.42	3.25	1.87	0.36	1.44	0.86
	Sig.	***	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

***= P≤ 0.001; **= P≤ 0.01; *=P≤0.05; n.s.= Différences non significatives.

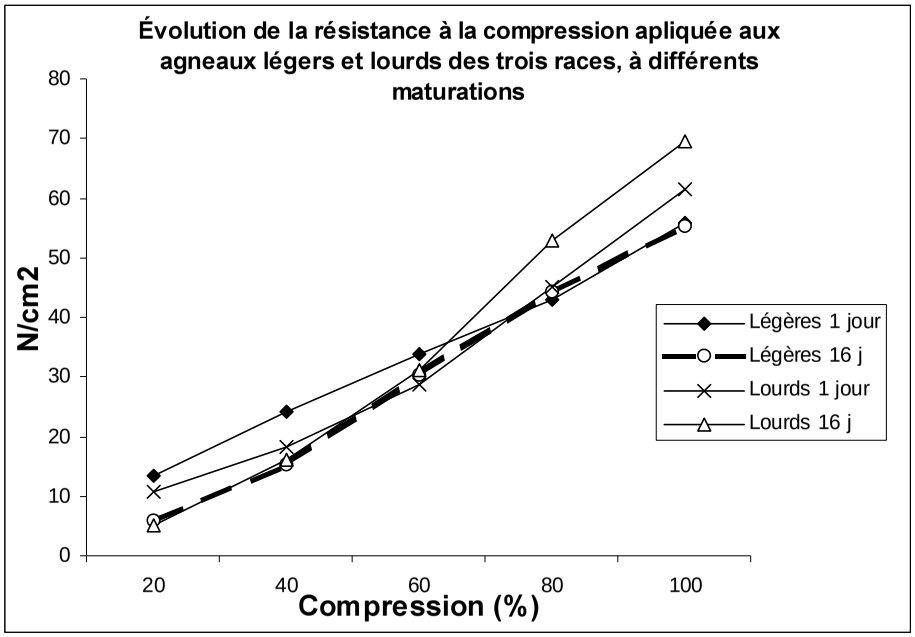
Bibliographie

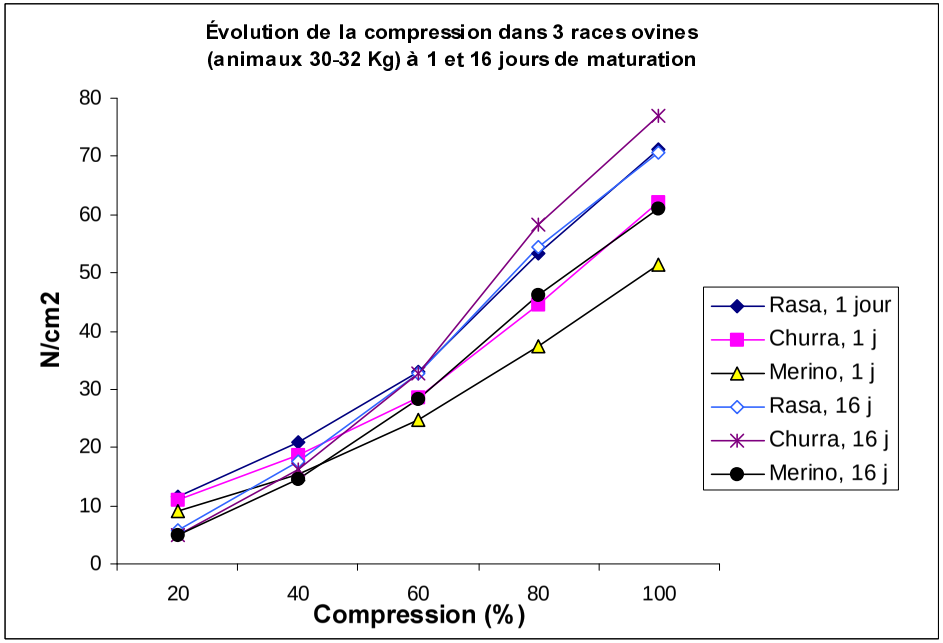
● Apple J.K., Dikeman M.E., Minton J.E., McMurphy R.M., Fedde M.R., Leith D.E. & Unruh J.A., 1995. Effects of restraint and isolation stress and epidural blockade endocrine and blood metabolite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark-cutting *Longissimus* muscle of sheep. Journal of Animal Science 73, 2295-2307.● Bailey A.J. & Light N.D., 1989. Connective tissue in meat and meat products. Elsevier Applied Science. London and New York.● Campo M.M., Santolaria P., Sañudo C., Lepetit J., Olleta J.L., Panea B. & Albertí P. 2000. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. Meat Science, 55, 371-378.● Culioli J., 1994. Meat tenderness: mechanical assessment. In "Proteolysis and meat quality". Eds Ouali A., Demeyer D., Smulders F., Audet Tijdschriften, Nijmegen, The Netherlands.● Lepetit J., Salé P., Ouali A. 1986. Post mortem evolution of rheological properties of the myofibrillar structure. Meat Science, 16, 161-174.● Sañudo C., Sánchez A., Alfonso M., 1998. Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. Meat Science, 49, S29-S64.● Sañudo C., Alfonso M., Sánchez A., Pardos J.F., Sierra I., Berge P., Dransfield E., Sebastian I., Fisher A., Nute G., Stamataris C., Zygoyannis D., Thorkelsson G., Thorsteinson S., Piasentier E., Valusso R. & Mills C.R., 2000. Instrumental toughness of lamb from diverse European sheep types. 46th ICoMST Congress Proceedings. Argentina.

Tableau 2. Moyennes (x) et écarts types (s.d.) de la résistance mécanique, par cellule de compression, dans trois races ovines espagnoles (Rasa Aragonesa, Churra et Merino) sacrifiées à trois poids vifs (10-12 kg, 20-22 kg et 30-32 kg) et maturées pendant différents temps (1, 2, 4, 8 ou 16 jours).

POIDS DE SACRIFICE			10-12 kg (légers)					20-22 kg (moyens)					30-32 kg (lourds)				
MATURATION (Jours)			1	2	4	8	16	1	2	4	8	16	1	2	4	8	16
Compression à 20 %	RASA ARAGONESA	x	10.49^{akx}	11.22^{akx}	8.66^{akx}	8.48^{bkx}	6.66^{akx}	11.36^{akz}	9.64^{akyz}	6.45^{akxy}	6.61^{abklxy}	4.84^{akx}	11.67^{akz}	10.74^{alyz}	6.68^{akxyz}	4.36^{akx}	5.91^{akxy}
		s.d.	3.92	7.37	4.00	3.65	2.65	4.25	5.40	2.98	3.13	1.14	5.70	6.36	5.44	1.00	2.58
	CHURRA	x	13.86^{aky}	14.21^{bky}	10.85^{akxy}	5.80^{abkx}	6.15^{akx}	9.72^{aky}	9.84^{abky}	7.35^{akxy}	7.20^{blxy}	5.15^{akx}	11.02^{aky}	6.67^{aklx}	6.29^{akx}	4.89^{akx}	4.82^{akx}
		s.d.	5.01	5.72	7.90	2.31	1.86	4.01	6.28	3.34	2.30	2.05	4.39	2.41	2.12	1.22	1.17
	MERINO ESPAGNOL	x	16.00^{bkz}	11.52^{bky}	9.13^{bkxy}	6.67^{akx}	5.05^{akx}	9.73^{aky}	6.18^{akx}	4.59^{akx}	4.60^{akx}	5.04^{akx}	9.18^{aky}	4.36^{akx}	5.60^{akx}	4.69^{akx}	4.84^{akx}
		s.d.	6.10	3.51	4.33	3.42	1.79	4.23	1.86	1.00	1.08	2.66	4.50	0.35	2.88	1.23	1.36
Compression à 80 %	RASA ARAGONESA	x	40.50^{akx}	33.46^{akx}	38.68^{akx}	43.30^{akx}	45.10^{akx}	44.75^{akx}	37.91^{akx}	43.07^{abklx}	45.24^{akx}	47.29^{aklx}	53.47^{alx}	46.49^{bkx}	53.08^{bkx}	51.73^{aklx}	54.56^{aklx}
		s.d.	12.93	5.63	9.03	11.03	13.94	14.53	7.06	6.30	12.59	10.88	15.73	8.46	15.66	8.29	7.44
	CHURRA	x	49.27^{akx}	45.45^{alx}	47.12^{akx}	40.53^{akx}	48.81^{akx}	56.33^{akx}	61.84^{akx}	45.37^{alx}	53.48^{abkx}	58.85^{alx}	44.51^{aklx}	42.93^{akx}	53.21^{akxy}	64.73^{bly}	58.21^{alxy}
		s.d.	22.37	12.58	11.37	9.23	14.30	17.45	38.19	7.43	23.10	14.06	6.79	10.76	20.61	21.10	7.61
	MERINO ESPAGNOL	x	38.97^{akx}	32.41^{akx}	39.15^{akx}	35.35^{akx}	38.77^{akx}	41.60^{akx}	38.48^{akx}	36.37^{akx}	47.19^{bkx}	41.74^{akx}	37.42^{akx}	36.53^{akx}	40.98^{akxy}	48.62^{bky}	46.22^{akxy}
		s.d.	12.86	6.70	9.75	8.99	7.35	9.54	8.46	9.16	15.52	10.61	6.58	8.07	16.14	6.14	10.27

a, b- Différents caractères (dans la même race et maturation) veulent dire différences significatives entre poids ($P \leq 0.05$).
k, l- Différents caractères (dans le même poids et maturation) veulent dire différences significatives entre races ($P \leq 0.05$).
x, y, z- Différents caractères (dans le même poids et race) veulent dire différences significatives entre maturations ($P \leq 0.05$).





MODELISATION DE L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DES FIBRES MUSCULAIRES DE BOVINS

T. HOCH, B. PICARD, C. JURIE, J. AGABRIEL
Unité de Recherche sur les Herbivores – Centre Inra de Clermont-Theix
63122 Saint-Genès-Champanelle

Introduction

La qualité des muscles et celle ultérieure de la viande devient un thème central des recherches menées dans le domaine de la production de viande bovine. A ce titre, l'étude des caractéristiques des fibres musculaires et de leur évolution prennent une place prépondérante. La tendreté dépend de plusieurs caractéristiques musculaires, en particulier des propriétés des fibres (taille, type contractile et métabolique).
Le lien entre tendreté de la viande et caractéristiques des fibres musculaires a été démontré mais se révèle très multi-factoriel, ce qui engendre une complexité dans l'analyse des phénomènes en jeu. Dans cette optique, l'apport d'une approche par modélisation peut s'avérer judicieuse. Un modèle peut permettre en effet de synthétiser les phénomènes et d'identifier les processus les plus pertinents à prendre en compte.

Description du modèle

L'ensemble des données concernant l'évolution des caractéristiques musculaires des bovins après la naissance, montre une évolution en deux phases. Chez des taurillons, une première phase, de la naissance jusqu'à l'âge de la puberté, est marquée par une forte croissance musculaire (Robelin, 1986). Au cours de cette phase, la proportion de fibres rapides glycolytiques (IIB) augmente, alors que le pourcentage de fibres rapides oxydo-glycolytiques (IIA) diminue (pour revue : Picard, 1999). Par la suite, la croissance musculaire ralentit et l'évolution inverse des caractéristiques des fibres est observée. Ainsi, après 12 mois, ce qui correspond grosso modo à la puberté, la proportion de fibres IIA augmente alors que celle de IIB diminue. La taille des fibres évolue également en deux temps, jusqu'à 12 mois c'est l'augmentation de la taille des fibres de IIB qui est la plus intense, alors qu'après 12 mois, l'augmentation de taille est plus marquée pour les fibres I (lentes oxydatives) et IIA. L'ensemble de ces données illustre la grande plasticité des propriétés des fibres musculaires qui peuvent être modifiées sous l'influence de différents facteurs d'élevage, en particulier les modifications du niveau alimentaire (Picard, 1999). Tenant compte de ces observations, nous avons réfléchi à l'élaboration d'un modèle permettant de simuler cette évolution des fibres.

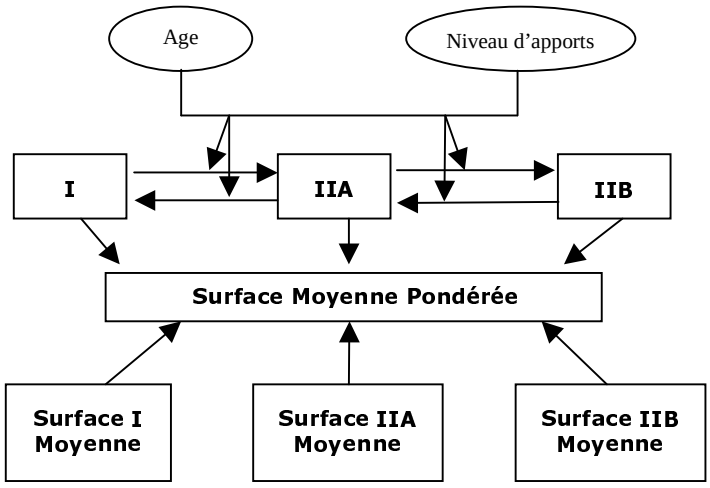


Figure 1 : Schéma conceptuel du modèle

Le modèle se subdivise principalement en deux parties (figure 1) : l'une considère le calcul du nombre de fibres de chaque type, l'autre s'attache à l'évolution des surfaces pour chacun de ces types. En première approximation, nous avons considéré trois types de fibre principaux : I, IIA et IIB. Nous avons par ailleurs considéré que le nombre total de fibres était fixé à la naissance et constant tout au long de la vie. Les dénominations « nombre » ou « pourcentage » sont donc équivalentes pour chaque type de fibre. Au cours de la croissance, les pourcentages évoluent suivant le passage d'un type de fibre à un autre. L'évolution de la surface de chaque type est par ailleurs calculée, ce qui permet d'estimer, en fonction des pourcentages respectifs, l'évolution de la surface moyenne totale.

Le passage d'un type de fibre à un autre se fait par l'intermédiaire d'une équation du type logistique, à savoir, par exemple pour le passage de IIA à IIB (en %.mois^{-1}), avant la puberté:

$$\mathbf{IIA} \rightarrow \mathbf{IIB} = \alpha . \mathbf{IIB} . \left(1 - \frac{\mathbf{IIB}}{\mathbf{IIB}\max}\right)$$

IIBmax représente le pourcentage maximal atteint par les fibres de type IIB à la puberté et α un taux de passage (mois^{-1}).

L'influence du niveau des apports énergétiques se traduit notamment par une valeur de α et de IIBmax plus forte. Cette influence est représentée par un rapport « gain de poids réel/gain de poids théorique (obtenu pour un niveau d'alimentation moyen) », qui module la valeur des différents paramètres.

La surface des différents types de fibre évolue de manière croissante et linéaire avec l'âge. La pente de la droite d'accroissement est forte avant la puberté pour les fibres de type IIB, plus faible par la suite. L'évolution est inverse pour les fibres de type I et IIA.

L'animal arrive à la puberté lorsque le point d'inflexion de sa courbe de croissance théorique est atteint, soit 36,8 % de son poids adulte.

Exploration du modèle

Nous nous sommes focalisés dans un premier temps sur l'évolution des caractéristiques des fibres du muscle *Semitendinosu*s (ST) de taurillons Limousins, en ne tenant pas compte de l'influence des apports alimentaires. La simulation s'est effectuée sur une période de 24 mois, la date 0 correspondant à la naissance. Les premiers résultats (figures 2 et 3) montrent une évolution du pourcentage et de la surface des différents types de fibre concordante avec nos connaissances (Jurie et al., 1995).

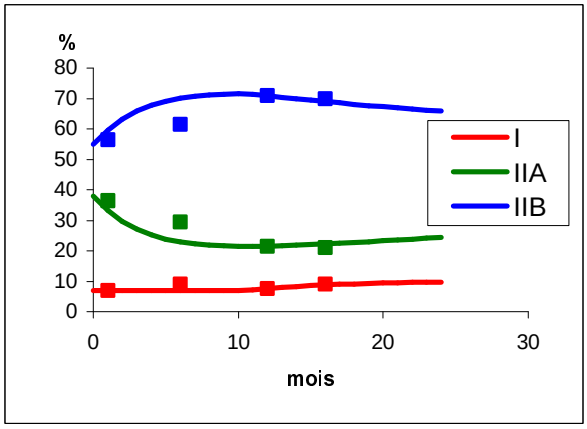


Figure 2 : Evolution du pourcentage des différents types de fibre (I, IIA, IIB).

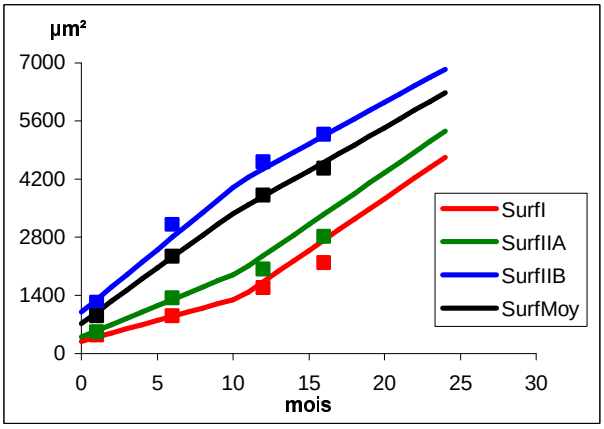


Figure 3 : Evolution des surfaces des différents types de fibre (I, IIA, IIB et moyenne).

Ce travail nous a permis de hiérarchiser les priorités dans la prise en compte des facteurs à inclure dans le modèle. Ces priorités se définissent comme suit : *(i)* meilleure précision dans la prise en compte du niveau alimentaire, *(ii)* influence du type d'animal, c'est-à-dire la race et le sexe, *(iii)* influence du type de muscle, *(iv)* extension du modèle à d'autres caractéristiques du muscle (collagène, type métabolique).

Les premiers résultats montrent la possibilité de simuler de manière réaliste l'évolution des caractéristiques des différents types de fibres musculaires chez le bovin. Il ne pourra être envisagé de prédiction qu'après prise en compte de ces processus et validation à l'aide d'un jeu de données indépendant de celui qui a servi à élaborer le modèle.

Références

Jurie C., Robelin J., Picard B., Geay Y., 1995. Post-natal changes in the biological characteristics of semitendinosus muscle in male Limousin cattle. Meat Science, 41, 125-135.

Picard B., 1999. Ontogenèse du tissu musculaire chez le bovin. Habilitation à Diriger les Recherches. Université Clermont II.

Robelin J. 1986. Bases physiologiques de la production de viande : croissance et développement des bovins. In : Production de viande bovine. D. Micol (Ed.), INRA, Paris, 35-60.

Génétique et Qualités des viandes

Animateurs : P. LEROY (INRA – Jouy en Josas)
et P. SELLIER (INRA – Paris)

Posters

EFFET D'UNE AUGMENTATION DU TAUX DE POTASSIUM PLASMATIQUE SUR LE METABOLISME ENERGETIQUE DU MUSCLE OXYGENE ET DU MUSCLE ANOXIQUE

T. ASTRUC, G. BIELICKI, J.P. DONNAT, X. FERNANDEZ, J.P. RENOU et G. MONIN
INRA, Station de Recherches sur la Viande, Theix, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

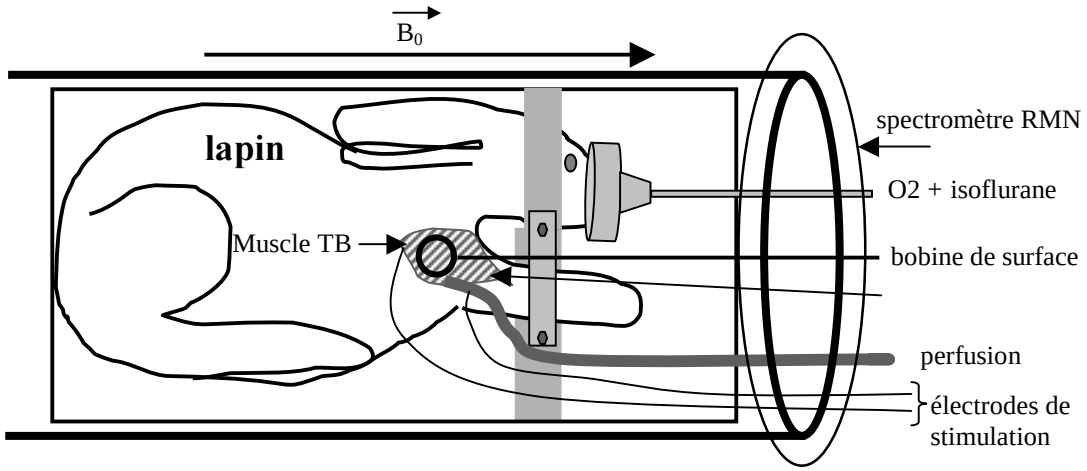
Les réactions physiologiques aux stress subis par les animaux de boucherie lors de l'abattage peuvent conduire à une accélération du métabolisme musculaire post mortem et à l'obtention de viandes présentant des défauts de qualité comme les viandes exsudatives ou déstructurées. Parmi ces réactions, on observe une augmentation du taux plasmatique de potassium dont la source principale est le muscle en activité (Fenn, 1938 ; Lindinger et al, 1988 ; Medbo et Sejersted, 1990). La kaliémie peut passer de 4 mM au repos à des valeurs proches de 10 mM lors d'un exercice physique intense (Medbo et Sejersted, 1990) ou lors de l'application de l'électronarcose chez le porc (Henry, 1957). Une telle hyperkaliémie entraîne une modification du potentiel membranaire des cellules musculaires (Chin et al, 1996) et peut altérer leur homéostasie (Fabiato et Fabiato, 1978). Elle pourrait ainsi contribuer aux modifications du métabolisme musculaire post mortem consécutives au stress d'abattage.

L'hyperkaliémie liée a l'activité musculaire fait partie d'un ensemble complexe de changements physiologiques (libérations hormonales, libération de lactate dans le sang, etc.), ce qui rend impossible l'étude de ses effets propres chez l'animal entier. Pour cette raison, nous avons utilisé un modèle de muscle perfusé *in situ* associé à une technique de mesure par résonance magnétique nucléaire (RMN) qui permet de suivre en temps réel l'évolution du métabolisme.

Matériels et méthodes

L'expérimentation a utilisé 7 lapins mâles de Nouvelle-Zélande d'environ 3 Kg. Chaque lapin était anesthésié avec de l'isoflurane (Forene, ABBOT France) par voie respiratoire. Le muscle triceps brachii, l'artère axillaire et les veines étaient exposés. Le muscle était préparé et perfusé par une suspension d'hématies selon les modalités opératoires décrites par Miri et al. (1991) pour le biceps brachii, mais laissé *in situ*. Le lapin était ensuite placé dans un support conçu à cet effet et une bobine de surface double accord proton-phosphore de 2 cm de diamètre était appliquée sur le muscle. Le tout était introduit dans un spectromètre RMN DRX BRUKER (aimant supraconducteur de 4,7 Tesla ; orifice de 40 cm de diamètre). L'homogénéisation du champ magnétique était réalisée en utilisant le signal proton de l'eau. A partir de la fin des réglages, la perfusion était poursuivie dans le muscle témoin avec une suspension d'hématies contenant 4 mM de potassium pendant 15 min. Le muscle contralatéral était perfusé avec la même suspension pendant 10 min puis pendant 5 min avec une suspension contenant 10 mM de potassium. Une stimulation électrique (5 s, 50 V, 50 Hz) était appliquée au muscle, puis la perfusion était arrêtée. Les mesures étaient poursuivies pendant 50 min. Des spectres de ^{31}P étaient obtenus toutes les 5 min à une fréquence de résonance de 81 MHz.

Le plan d'expérience était équilibré pour l'ordre de dissection des muscles. Les comparaisons de moyennes ont été réalisées en utilisant le test de Student (test t) avec mesures appariées.



Résultats

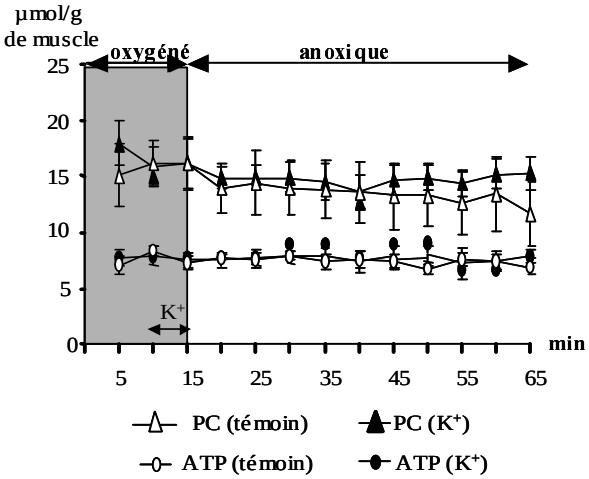
- <u>muscle oxygéné</u>

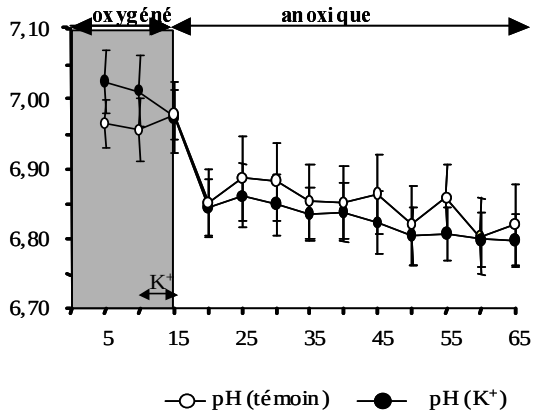
Les taux élevés de phosphocréatine (PC ; 17,5 µmol/g de muscle) et d'adenosine triphosphate (ATP ; 7,2 µmol/g de muscle) et les faibles concentrations en phosphate inorganique (Pi ; 3,4 µmol/g de muscle) et en sucres

phosphate (SP ; 1,1 µmol/g de muscle) indiquent que le muscle a conservé un bon état physiologique jusqu'à l'arrêt de la perfusion. L'augmentation du taux de K^+ dans le perfusat n'a pas d'effet sur le métabolisme du muscle.

- muscle anoxique

Une diminution du taux de PC ($P<0,05$) et du pH ($P<0,01$) est observée dans les 5 minutes qui suivent l'arrêt de la perfusion puis ces taux restent stables jusqu'à la fin des mesures. La concentration de Pi augmente légèrement pour atteindre 5,5 µmol/g à la fin les 50 minutes d'anoxie. L'augmentation du taux de K^+ dans le perfusat n'a pas d'effet sur le métabolisme du muscle anoxique.





Discussion

La perfusion d'une suspension d'hématies enrichie en potassium ne modifie pas le métabolisme énergétique du muscle oxygéné. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Chin et al (1996). Ces auteurs qui perfusaient des membres inférieurs de rats avec une suspension d'hématies enrichie en potassium (7,5 mM de K^+) observaient une diminution de 10 mV du potentiel de membrane sans effet marqué sur les taux d'ATP et de PC après 1 heure de perfusion. Ils concluaient que sans activité musculaire ni catécholamines dans le perfusat, la pompe Na/K dépendante n'était pas activée, expliquant la consommation réduite de ces composés riches en énergie.

L'enrichissement du perfusat en potassium n'affecte pas non plus la vitesse du métabolisme post mortem. Notons qu'après la stimulation électrique et l'arrêt de la perfusion, le taux de PC diminue d'environ 10 % et le pH passe de 6.98 à 6.80 alors que Miri et al (1991) observaient dans du biceps de lapin et dans des conditions similaires une diminution de 75 % du taux de PC. Pendant la même durée d'anoxie, le pH passait de 6,75 à 6,40 contre 6,98 à 6,80 dans notre cas. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence dans les muscles utilisés, mais plus probablement par une diminution, de la température du muscle, qui n'était pas contrôlée dans notre cas, contrairement à l'étude de Miri et al.. Bendall (1973) a observé une diminution de 20 % de la vitesse du métabolisme post mortem du muscle psoas de lapin quand sa température passait de 38 à 35 °C. La température des muscles du membre antérieur exposés à l'air peut diminuer de plusieurs degrés Celsius chez le lapin anesthésié (Astruc, résultats non publiés).

Conclusion

Une augmentation de 4 à 10 mM du taux de potassium dans le milieu de perfusion n'influence pas la vitesse du métabolisme du muscle oxygéné, non plus que celle du muscle rendu anoxique par l'arrêt de la perfusion. Il est donc peu probable que l'hyperkaliémie accompagnant l'abattage affecte notablement, à elle seule, la vitesse du métabolisme musculaire post mortem.

Références bibliographiques

Bendall, J.R. (1973). In : The structure and fonction of muscle, G.H. Bourne (Ed.).Academic Press, London.
Chin, E.R., Lindinger, M.I. and Heigenhauser, G.J.F. (1997). Physiol. Pharmacol. 75 : 1375-1386.
Fabiato, A. and Fabiato, F. (1978). J. Physiol. 276 : 233-255.
Fenn, W.O.(1938). Am. J. Physiol. 124 : 213-227
Henry, M. (1957). C.R Séances Soc. Biol 2 : 325-326.
Lindinger, M. I.and Heigenhauser, G. J. F. (1988). Am. J. Physiol. 254 : R117-R126.
Medbo, J.I. and Sejersted, O.M. (1990). J. Physiol. 421 : 105-122
Miri, A., Foucat, L., Renou, J.P., Talmant, A., Monin, G. Kozak-Reiss, G., Gascard, J.P. and Beranger, G. (1991). Meat Sci. 30 : 327-336

EFFETS DE L'AGE ET DU TYPE DE PRODUCTION SUR LES LIPIDES DES MUSCLES *LONGISSIMUS THORACIS*, *SEMITENDINOSUS* ET *TRICEPS BRACHII* DE BOVINS DE RACE CHAROLAISE

D. BAUCHART, D. DURAND, J-FMARTIN*, R. JAILLER, B. PICARD et Y. GEAY

Unité de Recherche sur les Herbivores et *Station de Recherche sur la Viande,
INRA, Centre de recherches de Clermont-Ferrand / Theix, 63122 Saint Genès Champanelle.

Introduction

Les lipides constituent une des composantes chimiques majeures du muscle qui, notamment par leur abondance relative de leurs formes de dépôt (essentiellement les triglycérides) et en tant que composés membranaires (essentiellement les phospholipides), influencent directement la qualité de la viande, tant du point de vue sensoriel (principalement flaveur et, secondairement, tendreté) que nutritionnel (Geay et al, 2002). La teneur et la composition en lipides des muscles dépendent de nombreux facteurs liés à l'animal (génotype, âge, sexe) et son alimentation (niveau alimentaire, composition de la ration, suppléments lipidiques,..). Elles dépendent également de l'abondance au sein du muscle de ses différents types de fibres et adipocytes intramusculaires et de l'orientation de leurs activités métaboliques (Hocquette et Bauchart, 1999).

Ces facteurs interagissent fortement entre eux entraînant une forte variabilité des caractéristiques lipidiques des muscles et compliquant fortement la prédiction de leur impact sur la qualité de la viande. Dans le but de mieux comprendre le rôle de ces facteurs sur l'orientation du métabolisme lipidique musculaire, nous nous sommes intéressés à deux types de production de bovins (taurillons, vaches de réforme) de la race à viande Charolaise. Cette étude s'intègre à un programme plus large qui vise à mieux adapter la conduite des animaux à leur race pour élaborer des muscles aux caractéristiques favorables à l'obtention d'une viande de bonne qualité sensorielle sans en altérer sa qualité nutritionnelle.

Matériel et méthodes

Animaux et prélèvements musculaires

Les taurillons (T) (n=21) ont été conduits dès l'âge de 9 mois dans des conditions similaires d'alimentation et de stabulation, puis abattus à l'âge de 15, 19 et 24 mois (soit 7 animaux par âge). Les vaches de réforme (VR) (n=21) ont été abattues au même état d'engraissement (note de 3,5) dans les tranches d'âges de 4-5, 6-7 et 8-9 ans (soit 7 animaux par tranche d'âge) après une période d'engraissement variant de 1 à 28 semaines.

Tous les animaux ont reçu, à volonté, la même ration constituée de pulpes de betterave surpressées et ensilées (85%) complétée par du maïs grain, du tourteau de soja et de l'urée. Vingt quatre heures après l'abattage (abattoir expérimental du Centre de Theix), les muscles *Longissimus thoracis* (LT, entrecôte) (100g), *Semitendinosus* (ST, rond de gîte) et *Triceps brachii* (TB, boule de macreuse) ont été prélevés, découpés en morceaux de 10 g, puis congelés à -20°C jusqu'à l'analyse chimique de leurs lipides.

Analyses lipidiques

La teneur en lipides totaux a été déterminée par gravimétrie après extraction spécifique des lipides par broyage de 5 g de tissu à température ambiante en présence du mélange chloroforme/méthanol 2/1 (vol/vol) selon la méthode décrite par Folch et al, (1957). Les teneurs en triglycérides (TG) et en phospholipides (PL) ont été déterminées selon des méthodes enzymatiques décrites par Leplaix-Charlat et al (1996) à partir de la fraction "lipides totaux" extraite précédemment. La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée par gravimétrie après séchage de l'échantillon à l'étuve à 80°C pendant 48 heures.

Analyses statistiques

Les effets de l'âge, du type de muscle et du type de production sur les caractéristiques lipidiques musculaires ont été analysés par une analyse de variance selon la procédure GLM de SAS.

Résultats

Taurillons.

Les teneurs moyennes en lipides totaux et en TG (Tableau 1) sont, pour tous âges confondus, 2 et 1,5 fois plus élevées dans les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Triceps brachii* (TB) respectivement que dans le muscle *Semitendinosus* (ST). Elles augmentent très fortement et très significativement ($P<0,01$) à l'âge de 24 mois dans les muscles LT (x1,5 et x 2,7 respectivement) et TB (x1,8 et x 2,8 respectivement) par rapport aux mêmes muscles d'animaux plus jeunes (15 et 19 mois). Ces augmentations sont en intensité plus faibles et ne sont significatives que dans le cas du muscle *Semitendinosus* (ST) entre les animaux âgés de 19 et 24 mois.

En revanche, la teneur en PL dans les 3 muscles varie peu avec l'âge des animaux, sauf pour le *Longissimus thoracis* entre 19 et 24 mois où elle augmente de +16,9% ($P<0,05$) et pour le *Semitendinosus* entre 15 et 19 mois où elle baisse de -6% ($P<0,05$) (Tableau 1). Si la teneur en matière sèche augmente entre 19 et 24 mois pour les muscles LT et TB (+7 et +6 % respectivement, $P<0,05$), cela ne modifie pas, voire dans certains cas accentue l'évolution des teneurs des classes lipidiques avec l'âge des animaux lorsque ces valeurs sont exprimées en mg/g tissu sec (données non fournies).

Taurillons		Lipides totaux (mg/g frais)	Triglycérides (mg/g frais)	Phospholipides (mg/g frais)	Matière sèche (%)
Longissimus thoracis	15 mois	17.0 ± 2.1 ^{c}	9.4 ± 2.2 ^{c}	6.3 ± 0.2 ^{c}	26.0 ± 0.2 ^{d}
	19 mois	22.0 ± 5.4 ^{c}	9.0 ± 1.7 ^{c}	5.9 ± 0.3 ^{c}	25.9 ± 0.4 ^{d}
	24 mois	33.7 ± 4.0 ^{d}	24.1 ± 4.0 ^{d}	6.9 ± 0.3 ^{d}	27.8 ± 0.6 ^{c}
Triceps brachii	15 mois	18.3 ± 4.1 ^{c}	8.9 ± 3.5 ^{cd}	8.6 ± 0.6	25.3 ± 0.6 ^{c}
	19 mois	15.0 ± 1.6 ^{c}	5.1 ± 1.0 ^{c}	8.2 ± 0.5	25.3 ± 0.3 ^{c}
	24 mois	27.3 ± 3.6 ^{d}	14.3 ± 3.0 ^{d}	7.5 ± 0.4	26.8 ± 0.4 ^{d}
Semitendinosus	15 mois	12.7 ± 1.0 ^{ab}	4.0 ± 0.9	6.7 ± 0.2 ^{b}	25.6 ± 0.5
	19 mois	10.7 ± 0.7 ^{b}	2.3 ± 0.7	6.0 ± 0.2 ^{a}	25.6 ± 0.3
	24 mois	14.8 ± 1.2 ^{a}	4.8 ± 1.0	6.3 ± 0.2 ^{ab}	25.9 ± 0.2
Traitements	type de muscle	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	âge des animaux	0.0041	0.0032	NS	0.0061

Tableau 1 : Teneurs (moyenne ± écart-type) en lipides, triglycérides et phospholipides (mg/g tissu frais) et en matière sèche (%) des muscles *Longissimus thoracis, Triceps brachii,* et *Semitendinosus* chez les taurillons charolais de 15, 19 et 24 mois.
a, b et c, d sur une colonne de trois données indiquent des différences significatives à $P<0,05$ et à $P<0,01$ respectivement.

Vaches de réforme

Pour tous âges confondus, les teneurs en lipides et en TG sont, chez les vaches de réforme (à la différence de chez les taurillons), 1,8 et 1,4 plus élevées dans les muscles ST et TB que dans le muscle LT (Tableau 2). On observe peu d'effets de l'âge sur les lipides musculaires, sauf dans le cas du muscle LT où les teneurs en lipides et en triglycérides baissent avec l'âge, soit respectivement -18% pour la tranche 6-7ans (NS) et -23% pour la tranche 8-9 ans ($P<0,05$) par rapport à la tranche 4-5 ans. Ces variations sont dues à la baisse de la teneur en TG très marquée chez les vaches âgées de 8-9 ans (-44%, $P< 0,05$) par rapport à celle des vaches âgées de 4-5 ans. En revanche, la teneur en phospholipides qui est 1,3 plus élevée dans le TB que dans le LT et le ST, ne varie pas avec l'âge des animaux.

Vaches de réforme		Lipides totaux (mg/g frais)	Triglycérides (mg/g frais)	Phospholipides (mg/g frais)	Matière sèche (%)
Longissimus thoracis	4-5 ans	20.5 ± 1.1 ^{a}	11.7 ± 1.3 ^{a}	6.4 ± 0.2	27.9 ± 1.7 ^{b}
	6-7 ans	16.8 ± 1.5 ^{ab}	7.6 ± 1.4 ^{ab}	6.3 ± 0.1	27.1 ± 0.3 ^{ab}
	8-9 ans	15.8 ± 1.5 ^{b}	6.6 ± 1.5 ^{b}	6.6 ± 0.3	26.1 ± 0.3 ^{a}
Triceps brachii	4-5 ans	20.8 ± 2.1	11.7 ± 1.7	7.2 ± 0.3	26.8 ± 0.4
	6-7 ans	28.9 ± 2.3	17.9 ± 2.6	7.4 ± 0.4	27.1 ± 0.4
	8-9 ans	21.4 ± 0.9	12.1 ± 1.6	7.4 ± 0.2	26.5 ± 0.2
Semitendinosus	4-5 ans	26.6 ± 2.7	17.3 ± 2.8	5.9 ± 0.1	27.3 ± 0.3 ^{c}
	6-7 ans	35.0 ± 5.6	26.2 ± 5.6	6.1 ± 0.1	28.6 ± 0.4 ^{d}
	8-9 ans	25.9 ± 2.1	17.4 ± 2.4	6.0 ± 0.1	27.1 ± 0.4 ^{c}
Traitements	type de muscle	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	âge des animaux	0.0513	NS	NS	0.0210

Tableau 2 : Teneurs (moyenne ± écart-type) en lipides, triglycérides et phospholipides (mg/g tissu frais) et en matière sèche (%) des muscles *Longissimus thoracis, Triceps brachii,* et *Semitendinosus* chez les vaches de réforme charolaises âgées de 4-5, 6-7 et 8-9 ans.
a, b et c, d sur une colonne de trois données indiquent des différences significatives à $P<0,05$ et à $P<0,01$ respectivement.

Discussion et conclusion

Cette étude montre clairement que, dans des conditions alimentaires semblables, les caractéristiques lipidiques des muscles dépendent fortement chez le bovin charolais à la fois du type de muscle considéré (LT, TB, ST), du type de production (taurillons, vaches de réforme) et de l'âge des animaux. Les variations les plus importantes des teneurs en lipides sont observées dans les muscles LT et TB en fonction de l'âge des taurillons, et dans les muscles ST et LT en fonction du type de production. L'idée communément répandue que les lipides s'accumulent dans les muscles avec l'avancement en âge des bovins se vérifie pour les trois muscles étudiés chez les taurillons mais pas chez les vaches de réforme. En effet, chez les vaches de réforme, si la teneur moyenne en lipides du ST double par rapport à celle des taurillons, la teneur en lipides du LT baisse de 25% ce qui laisse supposer une orientation du métabolisme lipidique très différente entre le LT et le ST ou le TB chez des animaux très âgés. Ceci pourrait en partie s'expliquer par des différences dans l'orientation des activités de lipogenèse et de lipolyse des tissus adipeux intramusculaires associés à ces muscles.

Références

Geay Y, Bauchart D., Hocquette J.F., Culioli J., 2002. INRA Prod. Anim., 15, 37-52.
Hocquette J.F., Bauchart D., 1999. Reprod. Nut. Dev., 39, 27-48.
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H.S., (1957). J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Leplaix-Charlat L., Durand D., Bauchart D. (1996). J. Dairy Sci., 79, 1826-1835.

MODALITE DE LACROISSANCE MUSCULAIRE CHEZ LE POULET EN RELATION AVEC LE GENOTYPE

C. BERRI, A. GUERNEC, E. LE BIHAN-DUVAL et M. J. DUCLOS
Station de Recherches Avicoles, INRA, 37380 Nouzilly

INTRODUCTION

La production de poulet utilise des génotypes qui se distinguent à la fois sur leur vitesse de croissance et leur composition corporelle. Des études récentes (Le Bihan-Duval et al., 1999; Berri et al., 2001) ont montré que la qualité technologique des viandes de volaille variait avec le potentiel de croissance musculaire. En particulier, des modifications du métabolisme musculaire post-mortem observées chez des animaux sélectionnés pour la croissance ou le développement musculaire ont conduit à une amélioration de la qualité technologique des viandes, via un meilleur pouvoir de rétention en eau. En suggérant une étroite relation entre performances de croissance et qualité, ces résultats nous ont conduit à étudier la construction *in vivo* du tissu musculaire en relation avec son potentiel de croissance. Pour celà la mise en place des muscles a été suivie au cours du développement embryonnaire et postnatal dans deux génotypes expérimentaux différant spécifiquement sur leurs rendements en filet et en gras abdominal. Nous avons parallèlement quantifié l'expression dans le muscle de deux régulateurs potentiels de la croissance musculaire, IGF-I et myostatine (MSTN), afin de relier leurs variations d'expression à l'apparition de différences morphologiques au cours du développement dans les deux génotypes. IGF-I est connu pour être un régulateur positif de la croissance alors que MSTN est un inhibiteur du développement musculaire.

MATERIEL ET METHODES

Les poulets provenaient de 2 génotypes expérimentaux de la Station de Recherches Avicoles : l'un avait été sélectionné pendant 16 générations pour le poids vif, le rendement en filet et contre le gras abdominal, l'autre maintenu sans sélection (Le Bihan et al.,1998). Cinq individus par génotype ont été collectés à 5, 8, 11, 14 et 17 jours *in ovo*, à l'éclosion puis à 2, 4 et 6 semaines d'âge, puis pesés. A partir de 11 jours *in ovo*, les rendements en filet et cuisse, puis après l'éclosion les rendements en *Sartorius* (SART, muscle mixte de la cuisse) et *Pectoralis major* (PM, muscle du filet) ont été déterminés. L'analyse histologique des fibres a été réalisée à partir de l'éclosion pour le PM et à partir de 2 semaines pour le SART. Dans ce dernier, la typologie des fibres a été déterminée en détectant les activités ATPase à pH 4.1 et succinate déshydrogénase. La surface transversale des fibres a été mesurée à l'aide de l'application RACINE développée sous Visilog (Noesis, France). L'analyse géométrique du muscle PM entre 2 et 6 semaines a permis d'estimer un index du nombre total de fibre pour chaque muscle. L'expression des ARNm de IGF-I et MSTN a été quantifiée par RTPCR en temps réel dans les muscles PM et SART collectés à partir de 14 jours *in ovo* et de 2 semaines de vie postnatale, respectivement. Les effets de l'âge et du génotype ont été testés par analyse de variance à 2 facteurs et les moyennes comparées par le test de Newman-Keuls (SAS, 1989).

RESULTATS

1- Croissance et développement musculaire

Les animaux des deux génotypes présentaient des courbes de croissance similaires. Ils se distinguaient toutefois sur leur rendement en filet à partir de 2 semaines de vie postnatale, la différence entre génotypes augmentant avec l'âge des animaux (Figure 1). Les rendements en filet des poulets sélectionnés étaient supérieurs de 19% à 2 semaines jusqu'à 31% à 6 semaines de vie postnatale. Les animaux des deux génotypes présentaient par contre des rendements en cuisses équivalents. Alors que la croissance relative de la cuisse était régulière au cours du développement, celle du filet était biphasique, avec une diminution entre 11 jours *in ovo* et l'éclosion et une augmentation ensuite (Figure 1).

Le développement accru du filet chez les animaux sélectionnés correspondait à des muscles plus larges (+2 à +11%) et surtout plus épais (+14% à +24%). L'analyse histologique a montré des diamètres de fibres plus élevés dans le muscle PM des animaux sélectionnés, quel que soit le stade de développement étudié (Tableau 1). Les mesures géométriques et histologiques effectuées sur le muscle PM n'ont pas mis en évidence de différence significative de nombre de fibres entre génotypes. L'ensemble de nos résultats suggère que l'augmentation du rendement en filet chez le génotype sélectionné serait due essentiellement à une croissance hypertrophique des fibres accrue, à la fois en longueur et en diamètre.

Les poulets sélectionnés avaient un rendement en SART supérieur à celui des animaux contrôles, malgré un rendement en cuisse équivalent. Ce rendement supérieur correspondait à des diamètres de fibres plus élevés, en particulier des fibres rouges lentes de type I (Tableau 1). La sélection entraînait aussi une diminution de la surface relative occupée par les fibres blanches rapides de types IIB quel que soit le stade de développement étudié (Tableau 1). Chez les animaux sélectionnés, la surface relative occupée par les fibres de type I augmentait avec l'âge au détriment de celle des fibres de type IIA, suggérant un métabolisme globalement plus oxydatif à 6 semaines.

2- Quantification des ARN messagers codant pour IGF-I et Myostatine par RTPCR en temps réel

Les niveaux des ARNm d'IGF-I et MSTN étaient supérieurs dans le muscle PM des animaux sélectionnés aux stades 4 et 6 semaines, c'est à dire quand les différences en rendement et en taille de fibres était les plus élevées entre génotypes. Dans le muscle SART, l'effet du génotype sur l'expression de ces ARNm n'était cependant pas retrouvé.

En superposant l'évolution du rapport IGF-I/MSTN à celle du gain de poids journalier du muscle PM (Figure 2), il est apparu qu'un accroissement de ce rapport précédait une augmentation de la vitesse de croissance musculaire. Ceci était

particulièrement flagrant autour de l'éclosion puisque le muscle PM présentait entre l'éclosion et 2 semaines un gain journalier en moyenne 60 fois supérieur à celui calculé entre 17 jours *in ovo* et l'éclosion. Dans les muscles PM et SART, on constatait après éclosion une diminution de la croissance journalière parallèle à celle du rapport IGF-I/MSTN. Ces observations suggéraient donc que l'équilibre entre IGF-I et MSTN influerait sur la vitesse de croissance musculaire.

CONCLUSIONS

Selon cette étude, l'augmentation des rendements musculaires par sélection était principalement due à une croissance hypertrophique accrue des fibres, à la fois longitudinale et transversale. La pression de sélection sur les muscles du filet a aussi eu des conséquences sur le muscle SART de la cuisse, qui en plus d'un développement supérieur présenterait une réduction de la surface relative occupée par les fibres glycolytiques. Ce dernier point différencierait les muscles de Poulet de ceux des mammifères, chez lesquels un développement musculaire supérieur est généralement associé à une dérive vers le métabolisme glycolytique. Le développement supérieur du muscle PM du génotype sélectionné correspondait à une augmentation de l'expression d'IGF-I mais aussi de MSTN, les variations de croissance musculaire au cours du développement étant reliées à l'équilibre d'expression des facteurs IGF-I et MSTN.

REFERENCES :

Berri et al., 2001. Poultry Science, 80 : 833-838.
Le Bihan et al., 1998. British Poultry Science, 39 : 346-353.
Le Bihan et al., 1999. Poultry Science, 78 : 822-826.
SAS user's guide: Statistics, 1989. SAS Institute Inc, Cary, New York City USA.

Tableau 1 : Aire de section transversale (μm^2) et surface relative des fibres musculaires

		SART						PM	
		IIB		IIA		I		IIB	
		C	S	C	S	C	S	C	S
Aire de section transversale	Eclosion	-	-	-	-	-	-	91.3	104.2
	2 semaines	220.5	309.5	200.7	319.7	107.2	175.0	334.8	378.0
	4 semaines	632.0	790.2	608.8	802.6	404.0	620.4	820.2	986.4
	6 semaines	541.0	728.4	611.4	846.4	432.2	679.6	1234.2	1535.0
	Génotype	**		**		***		***	
	Age	***		***		***		***	
	Interaction	NS		NS		NS		NS	
Surface relative	2 semaines	61.1 %	54.6 %	26.7 %	33.3 %	12.2 %	12.1 %		
	4 semaines	60.0 %	54.3 %	29.2 %	30.1 %	10.8 %	15.5 %		
	6 semaines	60.2 %	53.8 %	24.5 %	24.8 %	15.3 %	21.4 %		
	Génotype	*		NS		NS			
	Age	NS		*		*			
	Interaction	NS		NS		NS			

C : lignée contrôle, S : lignée sélectionnée; * P < 0.05, ** P < 0.001, *** P < 0.0001, NS: non significatif

Figure 1 : Evolution des rendements en filet et en cuisse au cours du développement

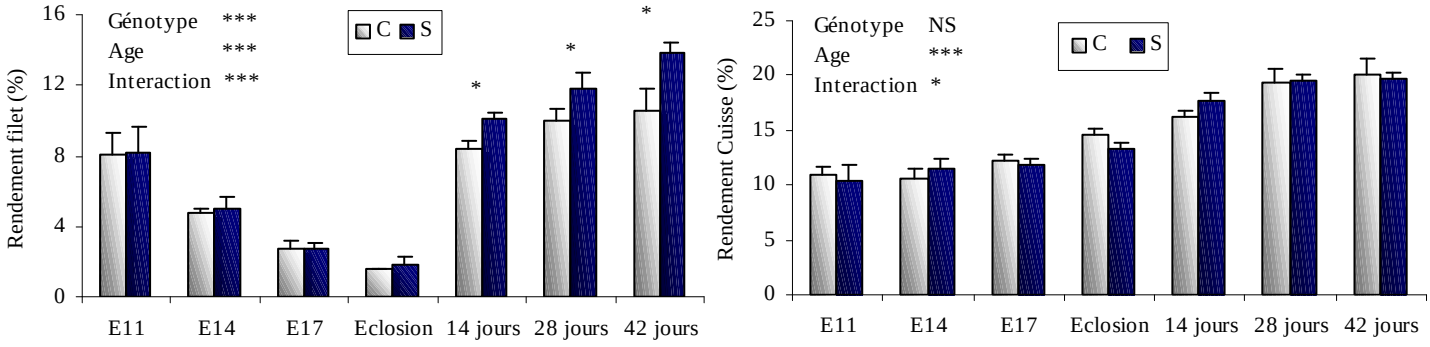
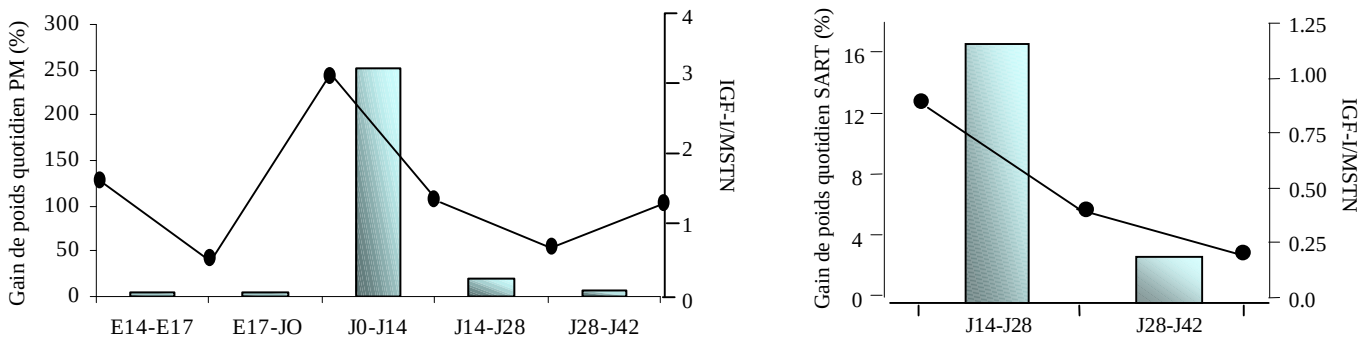


Figure 2 : Evolution du gain de croissance journalier (histogrammes) et du rapport IGF-I/MSTN (●)



ANALYSE PROTEOMIQUE APPLIQUEE A L'ETUDE DU DEVELOPPEMENT MUSCULAIRE ET DE LA QUALITE SENSORIELLE DE LA VIANDE BOVINE

J. BOULEY, C. CHAMBON*, B. PICARD
Unité de Recherche sur les Herbivores, INRA, *Station de Recherche sur la Viande, INRA, Theix, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

La mise en place et l'évolution des caractéristiques des muscles de bovins impliquées dans la qualité sensorielle de la viande a fait l'objet de nombreux travaux. Ceux-ci ont montré que le muscle de bovin est différencié dès le dernier trimestre de vie fœtale mais présente une grande plasticité durant la vie postnatale. Ainsi, les caractéristiques musculaires, en particulier des fibres, évoluent constamment au cours de la vie de l'animal et peuvent être modifiées sous l'influence de divers facteurs d'élevage tels que l'alimentation. Le type génétique des animaux conditionne également fortement les propriétés du tissu musculaire. En particulier, il a été bien montré qu'un fort développement musculaire, qu'il soit d'origine monogénique (génotype culard) ou polygénique (lignées divergentes), s'accompagne de caractéristiques particulières. En effet, les muscles de ces animaux renferment un nombre total de fibres supérieur, une proportion plus élevée de fibres rapides glycolytiques issues d'une prolifération supérieure des cellules de seconde génération [1]. Ainsi, ces muscles sont plus glycolytiques et contiennent des teneurs en collagène et en lipides intra-musculaires plus faibles que les muscles d'animaux non hypertrophiés. Ces caractéristiques sont favorables à une amélioration de la tendreté de la viande mais défavorable à une amélioration de sa flaveur. Aussi, il paraît important d'identifier l'origine de ces caractéristiques particulières associées à un fort développement musculaire pour comprendre les mécanismes de régulation impliqués et pouvoir à terme les moduler par les facteurs d'élevage pour maîtriser à la fois la tendreté et la flaveur de la viande bovine. Dans ce but, nous avons choisi de développer l'analyse protéomique qui permet l'étude simultanée de centaines de protéines, pour identifier des marqueurs de l'hypertrophie musculaire qui indirectement peuvent se révéler des marqueurs du nombre total de fibres musculaires. L'objectif de ce travail est tout d'abord de démontrer la faisabilité de la séparation des protéines de muscle de bovin par électrophorèse bidimensionnelle puis son application à l'étude de l'hypertrophie musculaire.

Matériel et méthodes

Le muscle *Semitendinosus* (ST) (mixte rapide glycolytique) prélevé sur différents types d'animaux dans l'heure suivant l'abattage, puis congelé dans l'azote liquide et conservé à –80° C, a été utilisé. Les animaux suivants ont servi à cette étude : **Modèle 1**, fœtus de 100 jours Blanc Bleu Belge (BBB) homozygotes culards (BC) et homozygotes non culards (BNC), Holsteins (H) (non culards) ; **Modèle 2**, taurillons de 22 mois Blanc Bleu Belge (BBB) homozygotes culards (BC), hétérozygotes culards (HC) et homozygotes non culards (BNC); **Modèle 3** : taurillons de 19 mois issus de deux lignées divergentes à fort (++) ou faible (--) développement musculaire. Les tissus musculaires congelés (40 mg) sont broyés dans 1 ml de tampon de solubilisation et analysés par 2D-PAGE [2]. L'isoélectrofocalisation (Multiphor, Amersham Pharmacia Biotech) est réalisée sur des gradients de pH (IPG, 13 cm) de 3-10 ou de 4-7 (Amersham Pharmacia Biotech) et la seconde dimension (système Hoefer), sur des gels SDS-PAGE (11 % T, 2.6 % C). Pour les gels analytiques (50 µg) et préparatifs (0,2 mg à 1mg), les protéines sont respectivement visualisées par une coloration au nitrate d'argent et au bleu de Coomassie R 250. Les gels sont analysés et comparés entre eux en utilisant le logiciel Melanie 3 (Genebio). Les protéines d'intérêt sont prélevées sur les gels et préparées pour l'analyse par MALDI-tof (Voyager-DE pro, PE Biosystems) selon le protocole Montage In Gel Digest$_{96}$ Kit (Millipore). Les spectres de masse obtenus sont soumis à deux bases de données dédiées au mass fingerprinting : Profound (prowl.rockefeller.edu/cgi-bin/ProFound) et Mascot (matrixscience.com).

Résultats et discussion

L'électrophorèse bidimensionnelle (2DE) appliquée au muscle ST de bovin permet de révéler dans nos conditions environ 1000 spots bien résolus dans le gradient de pH 4-7 et approximativement 500 spots dans le gradient de pH 3-10, repartis dans une zone de masses moléculaires comprises entre 15 et 200 kDa (Figure 1). A l'inverse des muscles foetaux (présentant 80 % de protéines dans la zone de gradient de pH 4-7), les 2DE de muscles adultes montrent une répartition des protéines homogène dans le gradient de pH 3-10. Or, il est clair que ces derniers n'offrent pas une résolution satisfaisante du fait de la forte dynamique d'expression des protéines musculaires. En effet, de nombreuses protéines (basiques) fortement exprimées limitent la visualisation des autres protéines moins abondantes. De ce fait, la grande majorité des études comparatives sont réalisées sur les gradients de pH 4-7 en attendant de développer des moyens améliorant la résolution des protéines basiques (sur IPG, 24 cm). Cependant, la reproductibilité de la méthode montre qu'en moyenne 90 % des spots se retrouvent d'un gel à l'autre au sein des modèles étudiés. Récemment, deux études ont permis de générer des cartes

protéiques de muscle squelettique annotées grâce à la spectrométrie de masse [2, 3]. La comparaison de nos résultats avec ces cartes ainsi qu'avec celles de Lametsch et Bendixen (2001) [4] montre de très fortes similitudes permettant de conclure que cette technique de séparation des protéines est applicable à l'analyse du muscle de bovin.

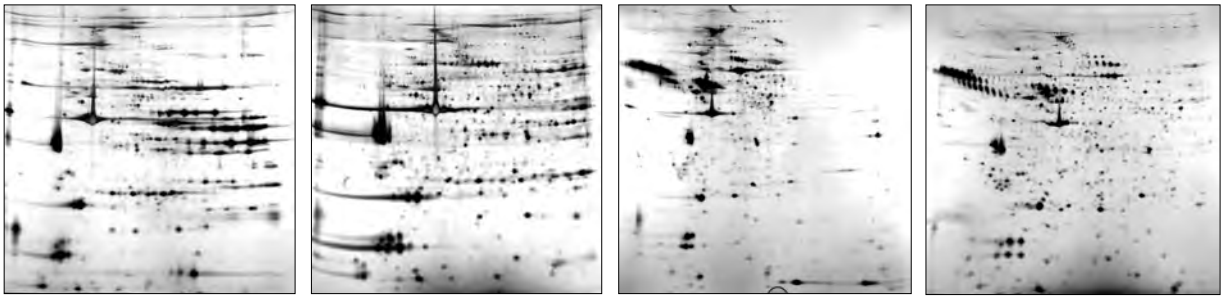


Figure 1 : 2DE, muscle ST adulte (1, IPG 3-10 et 2, IPG 4-7), muscle ST fœtal de100 jours (3, IPG 3-10 et 4, IPG 4-7). 50 µg de protéines sont séparées par 2DE et visualisées par coloration au nitrate d'argent.

L'analyse des gels au sein des différents modèles d'études indique que les variations du phénotype protéique, à la fois quantitative et qualitative, concernent une très faible proportion des protéines (inférieur à 5%). La variabilité la plus importante a été retrouvée en comparant le muscle ST de bovins adultes BC et BNC. Sur 26 protéines présentes dans le gradient de pH 4-7, 12 sont sous-exprimées et 14 sur-exprimées dans les muscles culards. Par exemple, la figure 2 montre une sous-expression de la protéine troponin T slow skeletal muscle isoform (TnT slow, N1) dans le muscle ST culards ainsi d'une sur-expression d'une forme de la protéine heat shock protein Hsp27 (H2). La sous-expression de TnT slow est cohérente avec une proportion plus élevée de fibres rapides glycolytiques [1] alors que la sur-expression d'une forme de Hsp27 peut être attribuée à des modifications de l'organisation de l'actine, la principale fonction physiologique de cette protéine. D'autre part, sur l'ensemble des protéines concernées par une variation d'expression, plusieurs sont retrouvées au sein des différents modèles étudiés. Ainsi, il semble que ces protéines variablement exprimées dans les différents modèles soient des marqueurs d'hypertrophie musculaire.

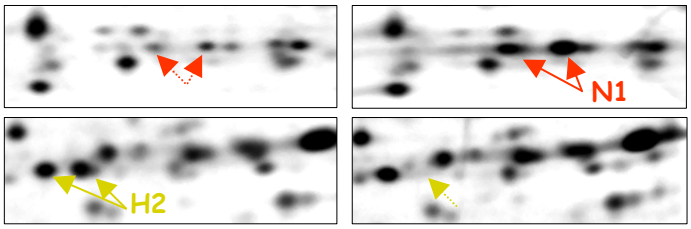


Figure 2 : Portions de 2DE présentées dans la figure 1 (numéro 2). N1 montre une sous-expression de la protéine troponin T slow skeletal muscle isoform (TnT slow) dans le muscle ST de bovins adultes BC. H2 montre une sur-expression d'une forme de la protéine heat shock protein Hsp27 dans le même muscle.

Conclusion

En conclusion, l'analyse protéomique appliquée au muscle de bovin permet d'étudier simultanément différentes classes de protéines (du métabolisme, contractile, cytosolique…) et d'identifier des protéines d'intérêt variablement exprimées dans les différents modèles étudiés. Ces premiers résultats montrent qu'il est possible de révéler des marqueurs potentiels de l'hypertrophie musculaire. A court terme, la validation de ces marqueurs sur différents types de muscles et de bovins sera réalisée par des techniques plus classiques (RT-PCR, western-blot,…). De plus, cette approche pourra aussi être appliquée à des études concernant la différenciation musculaire et également la recherche de prédicteurs de la tendreté de la viande bovine.

[1] V. Deveaux, I. Cassar Malek, B. Picard, Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 131(1) (2001) 21.
[2] J.X. Yan, R.A. Harry, R. Wait, S.Y. Welson, P.W. Emery, V.R. Preedy, M.J. Dunn, Proteomics 1 (2001) 424.
[3] J.C Sanchez, D. Chiappe, V. Converset, C. Hoogland, P.A. Binz, S. Paesano, R.D. Appel, S. Wang, M. Sennitt, A. Nolan, M.A. Cawthorne, D.F. Hochstrasser, Proteomics 1 (2001) 136.
[4] R. Lametsh, E. Bendixen, J Agric Food Chem 49 (2001) 4531.

ADAPTATIONS SPECIFIQUES AU MODE DE CONDUITE DE DIFFERENTS TYPES DE MUSCLES CHEZ LES BOVINS

I. CASSAR-MALEK[1], C. JURIE[1], A. LISTRAT[1], R. JAILLER[1], D. BAUCHART[1], S. KAHL[2], B. PICARD[1], J.F. HOCQUETTE[1]

[1]INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, 63122 Theix, France ; [2]USDA, ARS, Beltsville, USA.

Introduction

En élevage bovin destiné à la production de viande, il est classique de restreindre les animaux durant les phases hivernales, et de les conduire à un niveau alimentaire plus élevé au pâturage durant les phases printanières. Les animaux restreints pendant l'hiver présentent alors une croissance compensatrice lors de la période de réalimentation. Nous avons déjà montré que ce mode de conduite s'accompagne d'une modification du profil hormonal des animaux [1], de leur composition corporelle et de certaines caractéristiques musculaires [2]. De plus, ces résultats ont suggéré que les caractéristiques de chaque type de muscle répondent de façon spécifique aux modifications du niveau alimentaire. Pour confirmer cette hypothèse, l'objectif de ce travail était d'étudier les relations entre les paramètres de composition corporelle et les caractéristiques de chaque type de muscle en utilisant la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) des données. En effet, l'ACP s'est révélée être un outil de choix pour discriminer les animaux en fonction de leur mode de conduite et de leur vitesse de croissance sur la base de leur profil métabolique et de leurs caractéristiques musculaires [3].

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 42 bouvillons Montbéliards castrés à l'âge de 2 mois et alimentés avec un régime à base d'ensilage de maïs. A l'âge de 9 mois, 21 ont subi une restriction alimentaire pendant 3 mois (-25% en énergie et en azote) avant d'être réalimentés à volonté sur le même régime pendant 4 mois. Ces bouvillons ont été comparés à 21 animaux témoins alimentés de façon à obtenir une croissance continue de 1200g/j entre les âges de 9 et 16 mois. A la fin de la période de restriction à 12 mois, 10 bouvillons restreints et 10 témoins ont été abattus. A la fin de la réalimentation à l'âge de 16 mois, 11 bouvillons préalablement restreints et 10 témoins ont été abattus. Le poids vif à l'abattage ajusté en fonction de l'évolution de la courbe de croissance (poids régressé : PDS REG) a été choisi comme indicateur des performances de croissance.

A l'abattage, la composition corporelle des animaux a été évaluée après dissection de la 6ème côte et les quantités de muscle (MUCA) et de dépôt adipeux (DACA) dans la carcasse ont été estimées. Des échantillons de muscle *Semitendinosus* (ST), *Longissimus thoracis* (LT) et *Triceps brachii* (TB) ont été prélevés pour l'analyse des caractéristiques musculaires : activité des enzymes des métabolismes glycolytique (lactate deshydrogénase, LDH) et oxydatif (isocitrate deshydrogénase, ICDH ; citrate synthase, CS ; cytochrome *c* oxydase COX), activité 5'-désiodase (DES), surface de fibres musculaires (SURF), teneur en matière sèche (MS), en lipides totaux (LIP) et triglycérides (TG) intramusculaires, et en collagène total (COLTOT).

Au total, six ACP ont été réalisées pour chacun des trois types de muscle sur l'ensemble de ces variables (paramètres de performances zootechniques, de composition corporelle et caractéristiques du muscle considéré) aux deux âges étudiés : 12 mois et 16 mois. L'ACP a été réalisée afin de mettre en évidence les relations existant entre la composition corporelle et les caractéristiques musculaires, de discriminer les animaux sur la base des combinaisons linéaires de variables les plus explicatives et de représenter de façon synthétique les résultats sous forme graphique.

Résultats et discussion

A l'âge de 12 mois, et pour chacun des trois muscles, le premier facteur de l'ACP (axe 1) explique 25 à 40% de la variabilité suivant le type de muscle. Il représente principalement les différences de performances et de composition corporelle entre les animaux restreints et les animaux témoins. En effet, ce premier facteur est expliqué, au moins en partie, par les variables DACA, MUCA et PDS REG. Quel que soit le muscle, l'ACP a permis de discriminer, le long de l'axe 1, les animaux restreints et les animaux témoins (Fig. 1A). Les animaux ont été séparés, comme prévu, notamment en fonction des paramètres de poids à l'abattage et de composition corporelle. Toutefois, les relations entre les variables représentatives des caractéristiques musculaires et les paramètres zootechniques diffèrent avec le type de muscle. En effet, pour le muscle TB, le premier facteur de l'ACP (Fig. 1B) s'explique essentiellement par une opposition entre, d'une part, les paramètres de composition corporelle (DACA, MUCA), le poids vif (PDS REG), la surface des fibres (SURF), le métabolisme glycolytique (LDH) et, d'autre part, les caractéristiques du métabolisme oxydatif (COX, CS, ICDH), l'activité 5'-désiodase (DES) et la teneur en collagène total (COLTOT). En effet, les variables MUCA et PDS REG sont positivement corrélées à l'activité LDH ($r = 0,41$ à $0,43$; $P < 0,10$) et à la taille des fibres ($0,45 < r < 0,48$; $P < 0,05$) et négativement corrélées aux teneurs en collagène total ($0,45 < |r| < 052$; $P < 0,05$). Autrement dit, plus les

animaux sont restreints, plus leur muscle TB présente des fibres de petite taille, un métabolisme moins glycolytique, et une teneur en collagène total plus élevée. Ces observations sur la taille des fibres et le métabolisme confirment des résultats antérieurs acquis au laboratoire [4]. L'activité 5'-désiodase, impliquée dans la production locale de T3 (hormone thyroïdienne active) est d'autant plus forte que le métabolisme glycolytique est faible, confirmant ainsi des résultats obtenus entre muscles de type métabolique différent [1]. Par analyse de variance, nous n'avions pas pu mettre en évidence ces différences entre animaux restreints et animaux témoins [2] probablement en raison de l'importante variabilité individuelle (Fig.1A). Ainsi, l'analyse en composantes principales s'avère être un outil puissant pour identifier les différences entre groupes d'animaux et entre individus.

Le second facteur (15 % de la variabilité totale dans le cas du muscle TB, Fig.1B) est expliqué par l'opposition attendue entre la teneur en lipides et en triglycérides intramusculaires et la teneur en matière sèche du muscle. Les paramètres de croissance et les dépôts de lipides intramusculaires expliquant deux axes différents, le dépôt de lipides dans le muscle TB est, au moins en partie, indépendant de la vitesse de croissance, confirmant des résultats de Ortigues-Marty et al. [4].

Dans les autres muscles (ST et LT), la surface des fibres et les caractéristiques métaboliques s'avèrent indépendantes du poids et de la composition corporelle des animaux. Seuls les paramètres de composition corporelle (DACA) et le poids vif à l'abattage permettent de séparer les deux lots d'animaux. Comme dans le TB, les teneurs en lipides intramusculaires s'avèrent indépendantes du rythme de croissance.

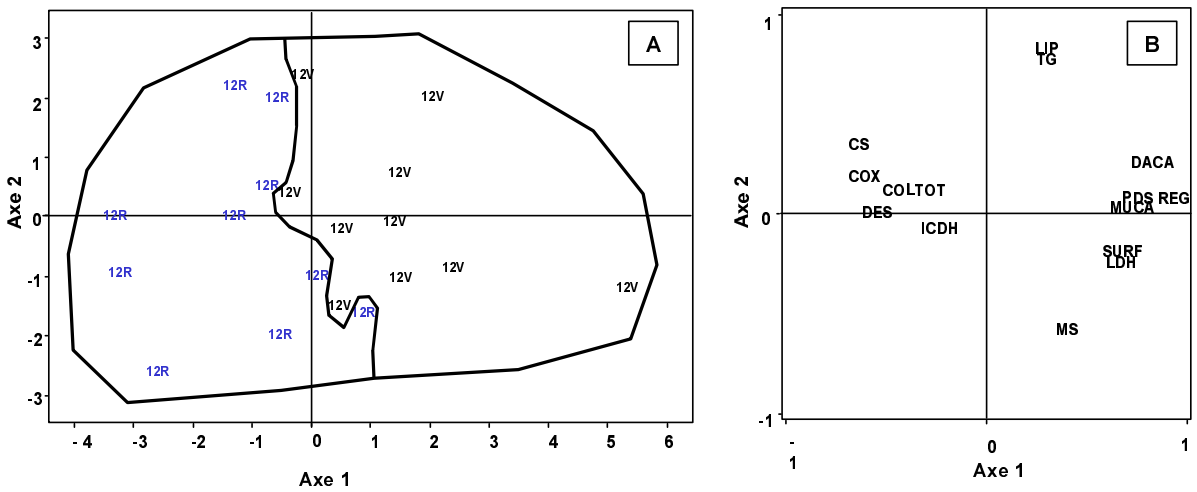
Chez les bouvillons âgés de 16 mois, l'ACP ne permet pas de discriminer les animaux restreints puis réalimentés des animaux témoins selon les paramètres de croissance, de composition corporelle ou de caractéristiques musculaires quel que soit le muscle considéré. Toutefois, dans le TB, dont le métabolisme oxydatif est renforcé après croissance compensatrice [2], l'ACP indique que la taille des fibres est négativement corrélée au métabolisme oxydatif (COX, CS; $0,48 < |r| < 0,65$; $P < 0,05$). Enfin, quel que soit le muscle, les teneurs en lipides sont indépendantes des paramètres de croissance.

Conclusion

L'analyse en composantes principales nous a permis de confirmer la réponse spécifique des différents types de muscle aux variations du niveau nutritionnel et du rythme de croissance. En effet, nous avons pu mettre en évidence un effet de la restriction alimentaire sur la taille des fibres, et sur le métabolisme et la teneur en collagène seulement pour le muscle de type oxydatif TB. Ainsi, les effets de la restriction alimentaire sur la réduction de la taille des fibres et l'orientation du métabolisme musculaire vers le type oxydatif, généralement rapportés dans la littérature, sont donc surtout visibles dans les muscles oxydatifs. De plus, dans le contexte de cet essai, la variabilité des teneurs en lipides intramusculaires quels que soient l'âge et le muscle est indépendante du rythme de croissance. En d'autres termes, dans cette étude, la restriction alimentaire a été suffisante pour modifier la composition globale de la carcasse sans affecter les dépôts de lipides dans les muscles.

Références: [1] Cassar-Malek I, Kahl S, Jurie C, Picard B, 2001. *J. Anim. Sci.*, 79, 2679-2687. [2] Cassar-Malek I, Hocquette JF, Jurie C, Jailler R, Listrat A, Picard B, 2000. *Viandes Prod. Carnés*, hors série, 35-38. [3] Ortigues-Marty I, Jurie C, Hocquette JF, Picard B, Cassar-Malek I, Listrat A, Jailler R, Bauchart D, Dozias D, Micol D, 2002. In: "Multi-Function grasslands. Quality forages, animal products and landscapes", Durand JL, Emile JC, Huyghe C, Lemaire C (Eds) 2002. EGF, Vol 7, p 584-585. [4] Jurie C, Bauchart D, Listrat A, Picard B, Giraud X, Dozias D, Jailler R, Geay Y, Hocquette J.F., 2000. *Viandes Prod. Carnés*, hors série, 59-64.

Figure 1: ACP montrant la répartition des animaux (A) et les relations existant entre les variables étudiées (B) à 12 mois dans le muscle TB (12R : restreints; 12V : témoins à volonté).



ÉVALUATION DE LA CROISSANCE DES POULETS DE LA RACE AUTOCHTONE NOIRE CASTILLAINE ÉLEVÉS SOUS DES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES

CIRIA, J.; ASENJO, B.; MIGUEL, J.A.; DEL CACHO, E*.; CALVO, J.L.
Area de Producción Animal. Escuela Universitaria de Ingenierías Agrarias de Soria. Universidad de Valladolid.
***Dpto de Patología Animal. Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza**
Campus Universitario, 42004 – Soria. España. jciria@agro.uva.es

Introduction

L'élevage des poulets biologiques est dû à la demande des consommateurs, qui veulent des produits d'origine animale obtenus par des méthodes naturelles, c'est à dire sans aucun genre d'éléments artificiels (fertilisants chimiques, activateurs de croissance, antibiotiques...) qui puissent laisser des résidus dans les produits et, par ailleurs, qui puissent arriver à la table du consommateur. Ceux-ci, sensibilisés par les scandales de la production animale intensive, sont prêts à payer plus pour ce genre d'aliments biologiques, qui sont rares et d'élaboration plus coûteuse.

Le Règlement (CE) nº 1084/1999 avec lequel se complète, car il comporte les productions animales, le Règlement (CE) nº 2091/91 sur la production agricole biologique et son indication chez les produits agricoles et alimentaires, entré en vigueur le 24 août 2000, établit les règles à suivre, emploi, alimentation, logements... de ces systèmes, concrètement dans les annexes I et II.

Le principal problème sanitaire auquel la production biologique des poulets doit faire face est celui des coccidies (Elimeria spp.); il n'est pas possible de l'enrayer avec les produits chimiques traditionnels car ils sont interdits par la législation qui régit ce genre de productions.

Dans « el Area de Produccion Animal de la Escuela de Ingenierias Agricolas de Soria », on travaille depuis 1996 sur la caractérisation et l'amélioration d'une population de poules de race Noire Castillaine, laquelle, par sa rusticité et sa résistance aux maladies, est considérée comme un bon choix pour la production de poulets biologiques.

Objectifs

Ce travail présente des résultats obtenus dans un essai où la possibilité d'élever des poulets de race Noire Castillaine dans des conditions biologiques avait été envisagée. Pour cela, on a comparé l'utilisation, pour le contrôle des coccidies, d'un homéopathique naturel, d'une vaccination avec oocystes atténués de *E. Maxima, E. Acervulina* et *E. Tenella,* et d'un produit chimique utilisé pour l'élevage normal mais interdit pour l'élevage biologique (il a été utilisé comme témoin).

Matériel et méthodes

a) Matériel biologique, alimentation et emploi.

Pour la réalisation de l'essai, 90 mâles de race Noire Castillaine ont été utilisés, dont trois lots de 30 animaux distribués au hasard, chaque lot ayant un traitement différent contre les coccidies. Jusqu'à trois semaines de vie, les animaux ont été mis dans des parcs de 12,5 m² (densité de 2,4 animaux/ m²).

L'alimentation a été fournie « ad libitum », en utilisant un seul aliment pendant tout l'élevage avec 2.800 cal d'énergie métabolisable et 18% de protéine brute. Les matières premières utilisées dans la formulation de l'aliment procédaient toutes de l'agriculture biologique et les matières premières interdites par la loi pour ces animaux n'ont pas été employées.

Toujours pendant l'essai, les normes sanitaires les plus strictes pour éviter dans la mesure du possible l'infestation croisée des animaux ont été suivies.

b) Contrôle de coccidies.

Un homéopathique (*Alquernat Zycox*©) a été ajouté à l'aliment des animaux du premier lot. Ceux du deuxième lot ont été vaccinés au moment de la naissance avec une vaccination composée d'oocystes, atténués par précocité d'*Eimeria maxima*, *Eimeria acervulina* et *Eimeria tenella*, développée dans le Département de Patología Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza (les animaux ont été vaccinés le premier jour de vie). Le troisième lot a été nourri avec un aliment commercial contenant un produit chimique pour contrôler les coccidies et qui a été utilisé comme témoin.

c) Contrôles.

Les animaux ont été pesés bi-hebdomadairement depuis la 4ème semaine jusqu'à la 12ème, et de manière individuelle dans la 13ème semaine pour pouvoir réaliser le traitement statistique des données.

d) Analyse statistique.

Les données obtenues ont été analysées statistiquement selon le modèle linéaire général d'analyse de variance du programme informatique SPSS version 10.0 pour Windows.

Résultats et discussion

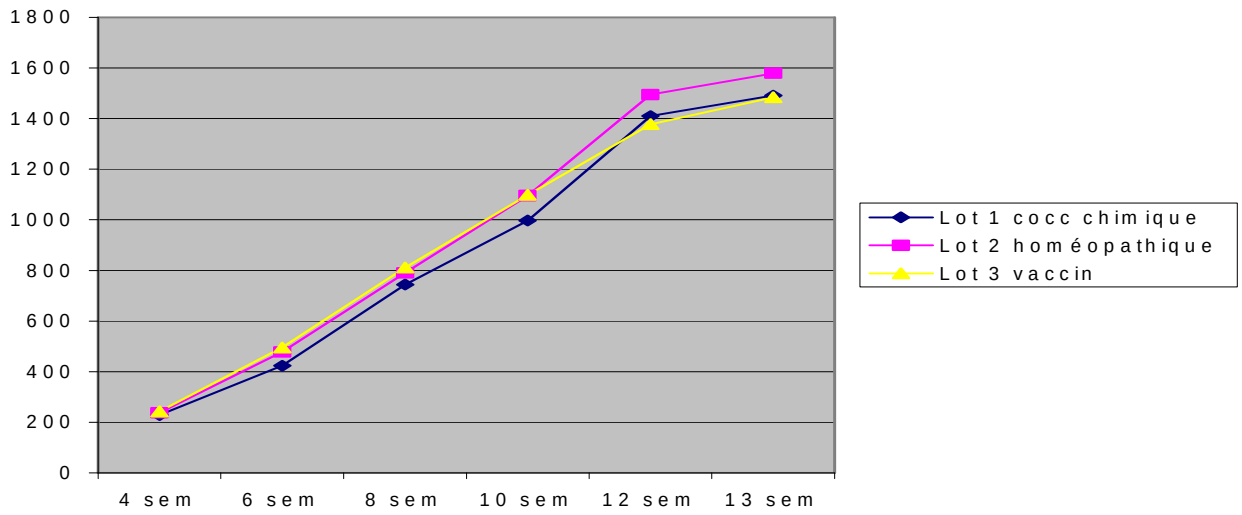
L'équipe qui a mené cette investigation en a commencé d'autres auparavant, avec des caractéristiques similaires en prenant des mesures d'acidification de l'eau. Cependant, ne pouvant contrôler les hautes infestations par Elimeria spp., il a fallu arrêter les essais entre la 4ème et la 5ème semaine. Pour cela, on pense que ces résultats, même préliminaires, sont très encourageants pour continuer à travailler dans la même ligne.

Àu vu des résultats présentés dans le tableau 1, on observe qu'il n'existe pas de différences importantes entre la croissance des animaux traités avec les coccidiostatiques alternatifs et la croissance chimique qui a été utilisée comme témoin

Tableau 1.- Comparaison du poids moyen (g) des mâles de la race Noire Castillaine en utilisant trois coccidiostatiques dans l'aliment et la vaccination.

	Coccidiostatique chimique	***Homéopathique***	***Vaccination***
4 semaines	229,2	237,3	243,3
6 semaines	423,1	177,5	495,1
8 semaines	744,33	790,04	811,25
10 semaines	966,25	1.094,8	1.098,2
12 semaines	1.409,36	1.494,17	1.377,64
13 semaines	1.490,30 a ±136,64	1.578,78 a ±134,78	1.483,64 a ±208,70

Les lettres différentes sur la même ligne indiquent des différences importantes pour $p \leq 0,05$



Graphique 1.- Comparaison du poids moyen des mâles de la race Noire Castillaine en utilisant trois coccidiostatiques dans l'aliment et la vaccination

Conclusions

La conclusion principale que l'on tire de cet essai est la possibilité d'élever des poulets de la race Noire Castillaine suivant le règlement de l'Union Européenne à propos de la production écologique, sans utiliser les produits chimiques traditionnels interdits par la législation écologique pour le contrôle des coccidies. Ainsi, on compte sur deux alternatives : vacciner les animaux pendant le premier jour de vie avec un vaccin à la composition d'oocystes atténués des principales espèces pathogènes d'Eimeria, et ajouter à l'aliment un produit homéopathique naturel composé d'espèces de plantes différentes qui semble fonctionner comme activateur de croissance.

Remerciements

Ce projet a été financé par la Junta de Castilla y León avec la collaboration de la Caja Rural de Soria**.**

Référence bibliographique

Règlement (CE) nº 1804/1999 du conseil du 19 juillet 1999. Journal Officiel des Communautés Européennes du 24 août 1999

ÉTUDE DES ACIDES GRAS DES MALES ENTIERS ET DES MALES CASTRES DE LA RACE AUTOCHTONE DES POULES NOIRES CASTILLAINES.

CIRIA, J.; MIGUEL, J.A.; ASENJO, B.; DE CASA, C.; SANZ, C.A.
Area de Producción Animal. Escuela Universitaria de Ingenierías Agrarias de Soria. Universidad de Valladolid. Campus Universitario, 42004 – Soria. Espagne. jciria@agro.uva.es

Introduction

La consommation de viande de poulet broiler en Espagne a souffert d'un certain ralentissement pendant les dernières années dû, entre autres, aux consommateurs, qui sont plus attentifs aux scandales sanitaires comme celui de la viande avec dioxines chez des poulets belges et peut-être aussi à une certaine fatigue vers ce genre de viande de qualité organoleptique pas très élevée. La castration modifie le métabolisme de l'animal et, en conséquence, la composition tissulaire, surtout la quantité de graisse. La castration n'est pas toujours complète : ainsi on observe que un pourcentage d'animaux chatrés changent la couleur presque rose de la base de la crête et le menton pour une couleur plus intense, aussi ils commencent à émettre des bruits et deviennent plus agressifs. Le comportement de ces animaux se trouve entre celui du coq et celui du chapon, caractéristique à prendre en compte pour les études sur la castration (Cubilo *et al*., 1999).

Dans le Département de Production Animal de la Escuela de Ingenierías Agrarias de Soria, on a réalisé un essai (Ciria *et al.,*. 2001 ; Ciria *et al.,*. 2002 ; Miguel *et al..*. 2001 ; Miguel *et al.,* 2002) pour comparer la croissance et la qualité de la viande des poulets élevés dans des conditions d'extensification, plus âgés pour l'abattoir et avec une base génétique autochtone (race Noire Castillaine) avec la viande des chapons de cette même race, pour pouvoir aussi offrir au marché un genre de viande de qualité différente de celle du broiler traditionnel. D'autre part on cherche à trouver une voie économiquement viable à l'auto-soutien de cette race autochtone qui a été par moments près de l'extinction.

Objectifs

L'objectif de ce travail est la quantification de quatre acides gras (C 14:0, C 16:0, C 18:0, C 18:1 et C 18:2) chez les mâles entiers et castrés de la race Noire Castillaine ainsi que sa comparaison avec d'autres races espagnoles autochtones et aussi chez les poulets broilers qui sont produits à un niveau industriel.

Matériel et méthodes

a) Matériel biologique et méthodologie.

Pour la réalisation de l'essai, 110 mâles de la race Noire Castillaine ont été utilisés ; ils ont été divisés en deux lots égaux, l'un avec des animaux chatrés (55 individus), l'autre avec les non castrés (55 individus) qui a été utilisé comme témoin. Les deux lots ont été gardés en captivité jusqu'à l'abattage dans deux parcs de 12,5 m² (densité de 4 animaux/m²). Un total de 16 animaux ont régénéré des testicules.

La castration a été réalisée avec anesthésie à l'âge de 7 semaines, d'après la technique décrite par Cubilo et Tor (1996).

L'alimentation a été fournie "ad libitum", en utilisant un seul aliment pendant tout l'élevage avec 2.800 cal d'energie métabolisable et 18% de protéine brute.

Après 33 semaines de vie, 10 animaux pris au hasard dans chaque lot ont été sacrifiés : chapons, coqs et régénérés.

Après avoir conservé les carcasses à 2°C , les rendements de celles-ci ont été déterminés suivant la méthodologie de dépeçage décrite dans le groupe de travail nº 5 de la WPSA[1] (1984).

b) Analyse instrumentale.

Pour la détermination de la qualité de la graisse intramusculaire, il faut procéder d'abord à l'extraction de celle-ci selon la méthode de Bligh et Dyer (1959) pour continuer la méthylation des acides gras suivant la méthodologie décrite par Morrison et Smith (1964). Après, on a procédé à la détermination des acides gras par la chromatographie de gaz.

c) Analyse statistique.

Les données obtenues ont été analysées statistiquement selon le modèle linéaire général d'analyse de variance du programme informatique SPSS version 10.0 pour Windows.

Résultats et discussion

Comme l'on peut observer par les données recueillies dans le tableau 1, pour les trois cas le C 18:2 a été l'acide gras le plus abondant, la différence entre les animaux régénérés et les coqs et les chapons étant importante mais pas entre les deux derniers, résultats similaires à ceux obtenus par Francesch *et al*. (2001) qui travaille avec des poulets de Penedesenca Noire et B. Sanchez (2001) avec la race Mos pour l'obtention du chapon de Villalba.

Par rapport aux acides gras saturés, le C 16:0 a été le plus abondant dans les trois cas, sans trouver des différences importantes entre les trois sortes d'animaux étudiés.

[1] World's Poultry Science Association

On observe aussi des différences pour les autres acides gras analysés (C 14:0, C 18:0 et C 18:1) en faveur des poulets qui ont régénéré des testicules, mais pas entre coqs et chapons.

Tableau 1.- Quantité d'acides gras chez les coqs, chapons et animaux régénérés de la race Noire Castillaine (g/100g de graisse extraite).

	COQS	***CHAPONS***	***RÉGÉNÉRÉS***	***SIGNIFICATION***
C 14:0 (miristique)	3,32 a	2,90 a	4,05 b	*
C 16:0 (palmitique)	18,22	15,28	19,83	ns
C 18:0 (stéarique)	6,38 a	5,30 a	7,08 b	*
C 18:1 (oléique)	8,31 a	7,26 a	10,84 b	*
C 18:2 (linoléique)	27,39 a	24,73 a	30,91 b	*

ns: différences peu importantes, *: différences importantes pour $p \leq 0,05$

La quantité d'acide miristique (C 14:0) chez les chapons de la race Noire Castillaine est sensiblement supérieure à celle des chapons de la race Penedesenca Noire (0,7 g/100g) trouvée par Francesch *et al*. (2001) et aussi un peu supérieure á celle trouvée par B. Sanchez (2001) avec la race Mos (1,39 g/100g). Les quantités d'acide stéarique (C 18:0) sont pareilles à celles trouvées par Francesch *et al*. 2001 (6,6 g/100g) mais inférieures à celles trouvées par B. Sanchez 2001 (9,8 g/100g). Les différences les plus importantes se trouvent pour l'acide oléique (C 18:1), car Francesch *et al*. (2001) a trouvé pour la Penedesenca Noire des niveaux de 37,8 g et B. Sanchez 2001 des niveaux de 36,64g : ces deux résultats sont notamment supérieurs à ceux de la race Noire Castillaine. Par contre, on a trouvé des niveaux d'acide linoléique (C 18:2) supérieurs à ceux publiés par Francesch *et al*. (2001) (21,3 g) et par B. Sanchez (2001) (16,36 g).

Si l'on compare les résultats avec ceux trouvés par Cepero *et al*. (1997) pour les poulets broiler, on observe que seulement dans le cas de l'acide miristique (C 14 :0), les coqs et chapons de la race Noire Castillaine présentent des quantités sensiblement supérieures à celles des broiler, aussi pour l'acide stéarique (chez les régénérés).

Conclusions

Du total de graisse extraite des coqs, chapons et animaux régénérés de la race Noire Castillaine, on observe une quantité de C 14:0, C 18:0, C 18:1 et C 18:2 plus importante chez les animaux qui ont régénéré les testicules que chez les autres. Ainsi, on n'observe pas des différences très importantes si l'on compare ces quantités avec celles obtenues chez les chapons d'autres races autochtones comme la Penedesenca Noire et la Mos (chapon de Villalba), excepté pour l'acide oléique où la Noire Castillaine présente des niveaux beaucoup moins importants que ceux des deux autres races, et aussi que ceux des poulets broiler.

Références bibliographiques

- CEPERO, R.; CONCHELLO, M.P.; LAZARO, R., BAYARRI, S.; ARIÑO, A.; HERRERA, A. (1997). "Lipid composition of broiler meat and skin affected by some antibiotic growth promoters". XII EUROPEAN SYMPOSIUM ON THE QUALITY OF POULTRY MEAT. pp 95-102
- CIRIA, J.; ASENJO, B.; MIGUEL, J.A.; CALVO, J.L; ANDRES, J. (2001). "Efecto de la castración sobre gallos de la raza Castellana Negra II: Rendimientos y características de la canal". ACTAS DEL XXXVIII SYMPOSIUM DE AVICULTURA DE LA W.P.S.A.
- CIRIA, J.; ASENJO, B.; MIGUEL, J.A.; CALVO, J.L.;ANDRES, J. (2002). "Technologycal quality of meat in non-castrated and castrated males of the Castellana Negra breed". ACTAS DEL 46th CONGRESO DE ICoMS. ROMA 2002.
- CUBILÓ, M.D.; TOR, M. (1996). "Obtenció de capons. Técnica quirúrgica". Paper-kite, Lleida.
- CUBILO, M.D.; TOR, M.; FRANCESCH, A. (1999). "Rendimientos al sacrifico y calidad de la canal en gallos de la raza Penedesenca Negra". XXXVI Symposium de la Sección Española de la WPSA, Valladolid. pp 175-181.
- FRANCESCH, A.; TOR, M.; CUBILO, M.D. (2001) "Fatty acid composition of edible meat in chickens: castration with anatomical position interation". XV EUROPEAN SYMPOSIUM ON THE QUALITY OF POULTRY MEAT. pp 85-88.
- MIGUEL, J.A.; CIRIA, J.; ASENJO, B.; ANDRES, J.; DE CASAS, C. (2001). "Efecto de la castración sobre gallos de la raza Castellana Negra I: Efecto sobre el crecimiento". ACTAS DEL XXXVIII SYMPOSIUM DE AVICULTURA DE LA W.P.S.A.
- MIGUEL, J.A.; ASENJO, B.; CIRIA, J.; DE CASAS, C.; MARTINEZ, R. (2002). "Study of the sensorial quality of the meat in non-castrated and castrated male of the native breed of chickend Castellana Negra". ACTAS DEL 46th CONGRESO DE ICoMS. ROMA 2002.
- SANCHEZ FERNANDEZ, B. (2001). "Valoración de los parámetros productivos del capón de Villalba". TESIS DOCTORAL (UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA).

MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ANALYSE DU TRANSCRIPTOME MUSCULAIRE APPLIQUEE A L'ETUDE DE LA QUALITE DE LA VIANDE DE PORC

DAMON M. [1], LIAUBET L. [2], VINCENT A. [1], HERPIN P. [1], HATEY F. [2]
INRA, [1]Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles; [2] Laboratoire de Génétique Cellulaire, 31326 Castanet Tolosan

Introduction

La maîtrise de la qualité de la viande est un enjeu majeur de la filière porcine. Cette qualité dépend de l'association entre diverses caractéristiques complexes (caractéristiques des fibres, teneur en lipides du muscle, nature du collagène, intensité de la protéolyse, etc…) qui peuvent être affectées par de nombreux facteurs génétiques, nutritionnels ou environnementaux. Les approches développées jusqu'à présent, à savoir l'analyse de l'expression et de la fonction d'un nombre restreint de gènes 'candidats' connus (facteurs de différenciation myogéniques et adipocytaires, myosines, récepteurs hormonaux, activités enzymatiques, protéines de transport), ne permettent pas de répondre globalement à cette complexité. Chez le porc, si des gènes majeurs ont clairement été caractérisés pour deux défauts de qualité de la viande (viandes PSE et acide), la plupart des problèmes rencontrés sont encore mal maîtrisés. Par exemple, les gènes contrôlant la teneur en lipides intramusculaires (LIM) ou impliqués dans l'apparition de la déstructuration n'ont pas été identifiés. Pourtant, le taux de LIM, caractéristique déterminante pour les qualités organoleptiques de la viande (goût, flaveur, jutosité), est en moyenne de 1.5 % dans le muscle Longissimus Dorsi (LD, noix de côtelette), alors qu'une étude d'un jury de consommateurs donne une qualité organoleptique optimale pour un taux de 2.5 à 3 % (Fernandez et al., 1999). Il est donc aujourd'hui nécessaire de mieux maîtriser la teneur en LIM, et ceci indépendamment du dépôt de lipides externes. De même, le défaut de déstructuration touche environ 17% des jambons cuits et entraîne une perte économique importante pour les industriels. Ce phénomène n'est décelable qu'après le désossage du jambon, notamment au moment de la découpe. Les muscles touchés ont alors perdu leur aspect fibreux au profit d'une masse musculaire apparemment sans structure organisée et molle. Cette altération se rapprocherait de lésions de types PSE. (Minvielle et al., 2001).

En fournissant un cliché de tous les gènes exprimés, l'analyse du transcriptome permettra l'accès simultané à l'ensemble des gènes impliqués dans ces processus et exprimés différentiellement dans différentes situations. Afin de permettre de telles analyses sur des espèces d'intérêt agronomique, l'INRA a lancé un vaste programme d'Analyse du GENome des Animaux d'Elevage (AGENAE, Hatey et al., 2000). Cette nouvelle approche permettra de hiérarchiser l'importance relative des gènes impliqués dans le déterminisme des caractéristiques d'intérêt, de mieux connaître les mécanismes impliqués et d'identifier de nouveaux marqueurs moléculaires associés aux caractéristiques musculaires. Ceux-ci pourraient être utilisés comme prédicteurs biologiques de la qualité de viande ou servir à la sélection d'animaux permettant de produire une viande de qualité.

Les travaux présentés ici rapportent les résultats préliminaires obtenus en utilisant les premiers filtres haute densité porcins (AGENAE) et la mise en place technique d'analyses du transcriptome.

Matériel et méthodes

Animaux

Etude du déterminisme de la teneur en LIM. Des porcs mâles castrés d'une génération F2 Duroc X Large White élevés au Domaine INRA du Magneraud ont été abattus à l'INRA de Saint-Gilles à un poids moyen de 106 kg. Après dosage de la teneur en LIM dans le LL (Folch et al., 1957), 2 lots de porcs ont été constitués: teneur basse moyenne de 1.99 % (lot **B**, n=6), ou teneur haute moyenne de 3.43 % (lot **H**, n=6).

Etude de la déstructuration du jambon cuit. Des porcs d'une génération F2 divergents sur des critères de qualité de viande (France Hybride) ont été répartis en 2 lots selon la note de déstructuration du jambon après cuisson (mesure de la couleur système CIE L*a*b*) : lot **ND**, non déstructuré (note 0, n=3) et lot **D**, détructuré (note 4, n=3).

Filtres haute densité

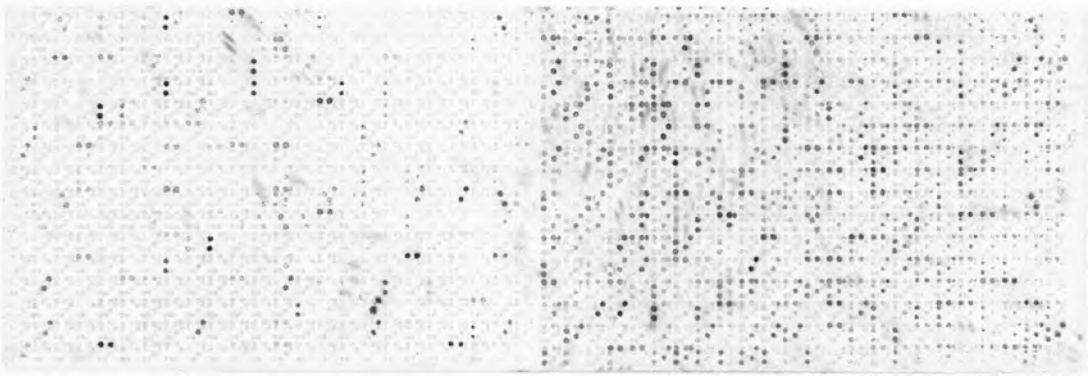
Deux répertoires de clones bactériens, l'un constitué de 1056 ADNc d'une banque normalisée multi-tissus de porc (programme AGENAE) et le second constitué de 1152 ADNc d'une banque normalisée de muscle de porc (Soares, USA), ont été déposés sur membrane de nylon à l'aide d'un robot Biogrid (Génopole Toulouse). Des gènes témoins connus pour être impliqués dans la physiologie musculaire et des gènes de contrôle externes (Arabidopsis) sont également déposés sur les membranes en plusieurs exemplaires.

Hybridation, analyse des images et des données d'expression

Le protocole utilisé est une adaptation de la méthode Multiplex Messenger Assay (Bernard et al., 2000). Après extraction et contrôle de la qualité des ARN, des mélanges d'ARN totaux ont été constitués dans des proportions identiques pour chacun des lots (**B**, **H**, **ND** et **D**). Ces pools d'ARN (10-15 µg) sont marqués par rétrotranscription et différentes conditions d'hybridation ont été testées. Après exposition et lecture avec un phosphorimager (STORM), l'intensité de chaque spot est quantifiée à l'aide du logiciel Imagene (Biodiscovery) et normalisée.

Résultats et discussion

Pour chaque hybridation, des images avec des signaux d'hybridation d'intensités variables apparaissent (Fig. 1).



Banque AGENAE Banque Muscle

Figure 1 : Filtre haute densité de clones bactériens d'une banque multi-tissus (AGENAE) ou musculaire hybridé avec une sonde complexe d'ADNc marqués provenant d'ARN extraits de muscles de porc.

Chaque messager rétrotranscrit est présent dans la sonde proportionnellement au niveau d'expression des gènes musculaires. Ce niveau d'expression est mesuré par l'intensité du signal quantifié par un logiciel d'analyse d'image. Ce signal correspond à la reconnaissance des séquences homologues entre les messagers de la sonde et les ADNc déposés sur le filtre (hybridation). Ces signaux peuvent être variables selon les lots d'échantillons. La comparaison des niveaux d'expression des gènes entre deux échantillons s'effectue en calculant le ratio des intensités normalisées pour chacun des gènes. Cependant, des phénomènes externes à la différence d'expression (différence de croissance bactérienne d'une membrane à l'autre, efficacité de synthèse de sondes et d'hybridation variable d'une condition à l'autre…) interviennent dans la différence d'intensité des spots et viennent perturber les résultats. Afin d'éliminer l'influence de ces phénomènes, les images sont normalisées (Bernard et al., 2000). L'analyse des résultats est en cours.

Conclusion

Ces analyses comparatives donnent des profils d'expression spécifiques et donc caractéristiques des différents types de muscle : muscles à teneur haute ou basse en LIM, jambon déstructuré ou non. Pour chaque gène, le niveau d'expression sera connu dans chaque condition, il pourra alors être identifié comme gène d'intérêt ou non. Ce nouvel outil paraît donc bien adapté et très performant pour l'étude des gènes impliqués dans le déterminisme de la qualité des viandes de porc.

Références bibliographiques

Bernard K;, Granjeaud, S., Victoréro, G., Nguyen C . (2000) Methods in Molecular Biology ,134, 337-353.

Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B. (1999) Meat Sci., 53, 59-65.

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

Minvielle B., Le Strat P., Lebret B., Houix Y., Boulard J., Clochefert N. (2001) J. Rech. Porcine en France, 33, 95-101.

Hatey, F., Martin, P., Douaire, M., Le Gac, F., Dambrine, G., Herpin, P., Monget, P. (2000) INRA Prod. Anim. Numéro Hors série « Génétique moléculaire », 175-180.

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DE LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DE LA VIANDE DE POULET EN RELATION AVEC LE GENOTYPE ET LE STRESS AVANT ABATTAGE

M. DEBUT, C. BERRI, E. BAEZA, N. SELLIER, C. ARNOULD, D. GUEMENE, N. JEHL[1], B. BOUTTEN[2], C. BEAUMONT, E. LE BIHAN-DUVAL
INRA, SRA, NOUZILLY, [1] ITAVI, PARIS, [2] CTSCCV, MAISONS- ALFORT.

Introduction

La maîtrise de la qualité technologique de la viande est devenue l'une des préoccupations des filières de type chair de dinde et poulet. La consommation de produits transformés à base de volailles est en effet en forte augmentation (Magdelaine et Philippot, Viandes et Produits Carnés, 2000, 21(1), 31-37). La génétique est un des facteurs déterminant la qualité de la viande de poulet, puisque Le Bihan-Duval *et al.* (Poultry Science, 2001, 80 : 839-843) ont observé des héritabilités très significatives de la chute du pH, de la couleur et de l'exsudat mesurés en conditions expérimentales. La qualité de la viande est également influencée par les conditions de pré-abattage, certains défauts tels que les viandes pâles et exsudatives n'étant révélés que dans des conditions d'abattage plus stressantes. L'objectif de notre étude était donc d'obtenir, chez le poulet, une première estimation de la variabilité de la qualité technologique en fonction du génotype et des conditions de pré-abattage.

Matériel et méthodes

Cette étude a porté sur deux génotypes issus d'une souche grand-parentale à croissance lente ou rapide. Avant abattage, ces animaux ont été soumis soit à un stress thermique (deux heures dans une cellule chauffée à 35°C), soit à un stress de transport (deux heures dans une camionnette) ou placés dans des conditions « témoins » minimisant le stress avant l'abattage. Les animaux ont été abattus aux âge classiques de commercialisation des deux souches, soit 6 semaines pour les animaux à croissance rapide et 12 semaines pour ceux à croissance lente. Au total, 180 animaux de sexe femelle ont été utilisés, soit 30 par combinaison génotype × condition de pré-abattage. Le pH à 15 minutes, le pH ultime, la couleur (luminosité, indice de rouge et indice de jaune), la perte en eau par exsudation et le rendement technologique de type Napole (Naveau, Techniporc, 1985, 8 : 7-13) ont été mesurés sur le *Pectoralis major* (filet) et l'*Iliotibialis* (cuisse), deux muscles aux métabolismes énergétiques différents (Smith et Fletcher, Poultry Science, 1988, 67 : 908-913). Le comportement des animaux sur la chaîne d'abattage a été apprécié par différents critères : présence ou absence de redressement du corps (tête au dessus des pattes), de vocalisations, de battements d'ailes au moment de l'accrochage et durée totale des battements d'ailes entre l'accrochage et l'électronarcose. Pour estimer le niveau d'« émotivité » des animaux, un test d'immobilité tonique a été réalisé une semaine avant l'abattage. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur l'ensemble de ces données avec le logiciel SPAD (Cisia, Montreuil, France).

Résultats et discussion

Les résultats de l'ACP pour les deux premiers axes sont rapportés sur la figure 1. Ils confirment l'importance de la cinétique de chute du pH *post-mortem* sur la qualité de la viande de poulet. Le pH ultime influence fortement le rendement technologique et la luminosité dans les muscles de la cuisse et du filet, un pH ultime bas entraînant un rendement technologique plus faible (r_{cuisse} = +0.58, r_{filet} = +0.48) et une viande plus pâle (r_{cuisse} = - 0.70, r_{filet} = - 0.70). Le pH à 15 min explique davantage les pertes en eau par exsudation (r_{filet} = - 0.40). Des coefficients de corrélation de Spearman de -0.77 et -0.25 entre durée totale de battements d'ailes et pH à 15 min sont obtenus dans le filet et la cuisse respectivement, suggérant une forte relation de cause à effet entre activité sur la chaîne d'abattage et vitesse de chute du pH. Une relation significative entre activité sur la chaîne d'abattage et indice de rouge a également été observée, une activité plus soutenue étant associée à une viande plus rouge. Ceci pourrait s'expliquer par une augmentation d'hémoglobine due à un afflux sanguin plus important dans le muscle en activité (Ngoka et Froning, Poultry Science, 1982, 61, 2291-2293). Ces corrélations entre pH ultime, rendement technologique, luminosité, vitesse de chute du pH et activité se retrouvent aussi bien entre souches qu'intra-souche, et montrent donc l'existence de relations directes non-inhérentes au fait d'étudier deux populations différentes.

Des différences importantes entre souches sont observées aussi bien en terme de qualité de la viande que de comportement. Par rapport à la souche à croissance rapide, le muscle de la cuisse des animaux à croissance lente présente un rendement technologique plus important (86 *vs* 85%, $p<0.05$) et une couleur plus sombre (50. 07 *vs* 51.22, $p<0.001$), associés à un pH ultime plus élevé (6.24 *vs* 6.04, $p<0.001$). Le filet des animaux à croissance lente présente par contre des pertes en eau par exsudation plus fortes (1.03 *vs* 0.85%, $p<0.05$) et un rendement à la transformation plus faible (82.85 *vs* 84.06%, $p<0.001$). Ceci résulte vraisemblablement de leur vitesse de chute de pH plus rapide, elle-même reliée à la durée de battements d'ailes sur la chaîne d'abattage plus longue de ces animaux. Si par ailleurs, les animaux à croissance lente présentent des durées d'immobilité tonique plus

courtes (3min 13s *vs* 4min 46s), aucun élément ne nous permet de conclure à une relation directe entre émotivité et activité sur la chaîne d'abattage.

Enfin, au cours de cette étude, l'impact des conditions de pré-abattage a été limité au muscle de la cuisse. La chaleur provoque des effets défavorables, en entraînant une baisse significative du pH ultime (6.07 *vs* 6.13, $p<0.001$), une augmentation de la luminosité (51.36 *vs* 50.31, $p<0.001$) et une tendance à une diminution du rendement de type Napole (84.80 *vs* 85.34%, ns). Comme les travaux de Hocking *et al.* (British Poultry Science, 1994, 35, 799-807), notre étude suggère donc que le développement d'une hyperthermie marquée des animaux provoque une détérioration des propriétés fonctionnelles des muscles. A l'opposé, l'effet principal du transport a été de diminuer la luminosité (50.26 *vs* 50.31, ns) et d'augmenter le rendement technologique (86.68 *vs* 85.34%, ns). Ceci est sans doute dû à un pH ultime plus élevé (6.21 *vs* 6.13, $p<0.001$) lié à un épuisement des animaux entraînant une diminution du stock de glycogène musculaire avant la mort comme le suggère Lambooij (XIV European Symposium on the Quality of Poultry Meat, 1999, 311-323). Aucune interaction significative entre génotypes et conditions de pré-abattage n'a été observée. On observe toutefois un effet moins marqué du transport pour la souche à croissance lente, dont le pH ultime, la luminosité et le rendement technologique dans la cuisse sont moins affectés.

Conclusion

L'ensemble de ces résultats confirme l'importance de la cinétique de chute de pH sur la qualité technologique de la viande de poulet et pour la première fois nous montrons une forte relation entre pH ultime et rendement à la transformation. L'influence de l'activité sur la chaîne d'abattage avant la mort sur la qualité de la viande a également été observée. Notre étude a par ailleurs souligné un effet important du type génétique sur plusieurs indicateurs de qualité, qui peut être modulé par les conditions de pré-abattage. D'autres travaux sont en cours pour préciser davantage la variabilité génétique à la fois des caractéristiques physico-chimiques des muscles et des niveaux d'activité influençant la qualité technologique de la viande.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'aide au développement technologique de l'OFIVAL. Nous remercions le sélectionneur Hubbard-ISA (Châteaubourg) pour la fourniture des animaux, ainsi que N. Millet, A. Boucard, T. Bordeau, M. Couty, M. Mills et l'Unité Expérimentale de la SRA pour leur aide technique.

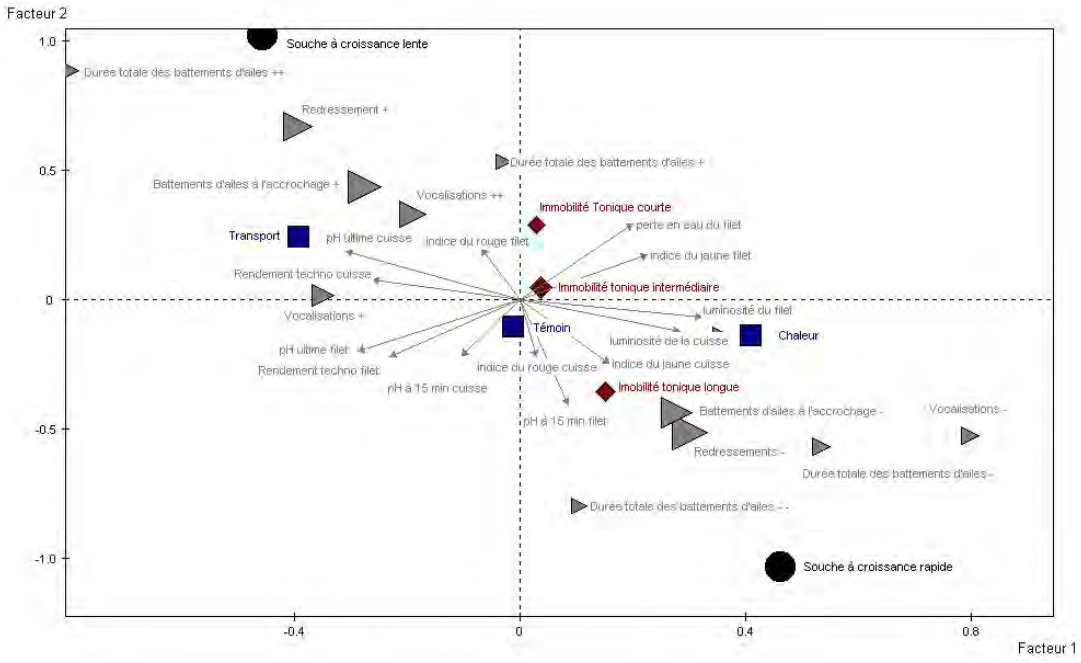


FIGURE 1 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES VARIABLES DE QUALITE DE LA VIANDE EN RELATION AVEC LA SOUCHE, LES CONDITIONS DE PRE-ABATTAGE, L'IMMOBILITE TONIQUE ET L'ACTIVITE SUR LA CHAINE D'ABATTAGE.

IMPORTANCE DES CARACTERISTIQUES METABOLIQUES ET DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES MUSCLES DE BOVIN SUR LEUR QUALITE SENSORIELLE

DRANSFIELD, E[1]., BAUCHART, D[2]., CULIOLI, J[1]., GEAY Y[2]., JURIE, C[2]. et PICARD, B[2].
[1]Station de Recherche sur la Viande et [2]Unité de Recherches sur les Herbivores,
INRA, Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France.

Résumé: La qualité sensorielle de steaks grillés provenant des muscles *Longissimus thoracis, Triceps brachii* et *Semitendinosus* de bovin (taurillons, vaches de réforme) est mesurée par un panel de dégustateurs entraînés. Les variations de tendreté initiale, tendreté globale, jutosité, résidu en bouche et flaveur de 497 muscles ont été reliées à leurs caractéristiques métaboliques et à leur composition chimique. Les viandes les plus tendres présentaient une baisse de pH qui tendait à être plus lente, des activités ICDH plus élevées, un pourcentage plus important de fibres de type lent oxydatif et un pourcentage moins important de type rapide oxydo-glycolytique. Les muscles correspondant avaient des diamètres de fibres plus petits, étaient moins riches en collagène total et en collagène thermo-stable et possédaient une teneur en lipides plus forte. Les viandes avaient tendance à être d'autant plus savoureuses et juteuses qu'elles étaient riches en lipides et pauvres en fibres rapide glycolytiques.

Introduction

La composition chimique des muscles est à la base de la qualité sensorielle de la viande mais leur complexité biochimique et structurale nécessite une approche pluridisciplinaire intégrant des mesures histologiques, biochimiques, physiques et des contrôles des techniques de transformation en viande pour mieux en comprendre l'importance de ses différents constituants sur la qualité sensorielle.

Matériels et méthodes

Animaux. Au total 84 taurillons et 84 vaches de réforme provenant de 4 races à viande du Massif Central (France) soit Aubrac, Charolaise, Limousine et Salers ont été élevés, engraissés et abattus au Centre INRA de Theix. L'obtention de l'ensemble des animaux s'est déroulé sur 4 années 1997 - 2000. Les taurillons ont été abattus à l'âge de 15, 19 ou 24 mois et les vaches de réforme ont été abattues à l'âge de 4-5, 6-7 et 8-9 ans à un même niveau d'engraissement.

Mesures de composition et de caractéristiques métaboliques des muscles. Les prélèvements des muscles *Longissimus thoracis* (LT), *Semitendinosus* (St) et *Triceps Brachii* (TB) ont été effectués une heure post-mortem en vue des mesures de l'activité enzymatique des caractéristiques des différents types de fibres musculaires (types contractile et métabolique, surface) par histochimie. Le pH intracellulaire a été mesuré 1 et 3 heures post-mortem. Les teneurs en protéines, triglycérides et phospholipides, collagène total et collagène thermo-stable ont également été mesurés sur les trois muscles de tous les animaux.

Mesures de qualité. A deux heures post mortem, les carcasses ont été placées dans une chambre froide à 2°C. A 24 heures post mortem, une partie des 3 muscles (LT, St et TB) ont été utilisés pour la mesure instrumentale de dureté de la viande et le reste a été stocké à 2°C. Après 14 jours de stockage à 4°C, les muscles ont été congelés sous forme de steaks et stockés à -20 °C. Ils ont été décongelés, puis tranchés et chauffés à 70°C pour des mesures de dureté au cisaillement et à la compression. Huit steaks de la même année de production ont été choisis de façon aléatoire, décongelés à température ambiante, puis grillés à une température interne de 55°C à 60°C. Leurs qualités sensorielles ont été déterminées par un panel de 12 dégustateurs entraînés.

Analyses statistiques. Les données ont été analysées afin de réaliser une analyse en composantes principales à partir des moyennes des 3 muscles et des 6 âges.

Résultats

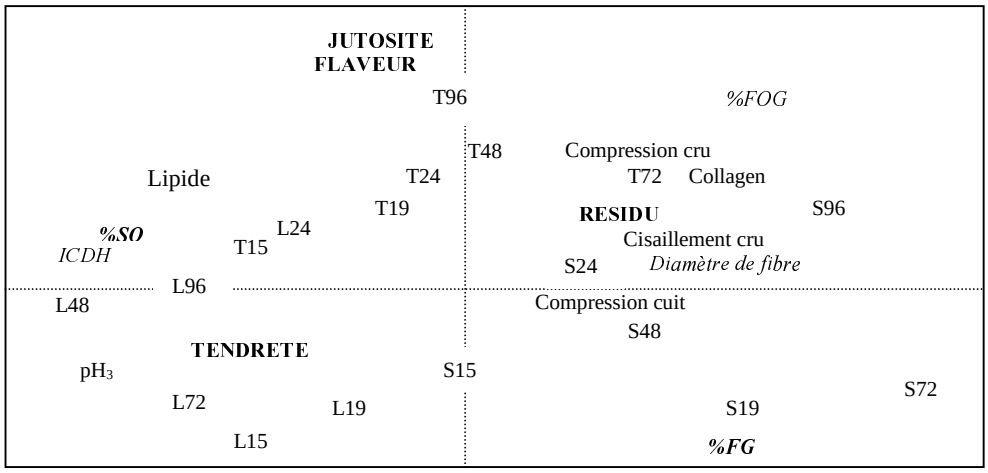
Origine de la variabilité de la qualité sensorielle des viandes. En considérant tous les échantillons de viande les taurillons présentent les notes moyennes (sur une échelle de 10) de 5,2 à 6,6 pour la 'tendreté initiale' ; de 4,8 à 6,4 pour la 'tendreté globale ; de 3,9 à 5,3 pour le résidu' ; de 4,8 à 6,5 pour la 'jutosité' et de 5,1 à 6,3 pour la 'flaveur'. Quant aux échantillons de viande de vaches de réforme, les notes moyennes sont de 4,6 à 7,1 pour la 'tendreté initiale'; de 4,0 à 6,8 pour la 'tendreté globale', de 3,5 à 5,8 pour la 'jutosité', de 4,6 à 7,0 pour le 'résidu' et de 4,9 à 6,8 pour la 'flaveur'. Tandis que les effets de la race et du système de production sont non significatifs, les effets de l'âge et du type de muscles dominent la variabilité de la qualité.

Corrélations entre qualité sensorielle et composition de muscles. Les valeurs de toutes les variables ont été rassemblées pour étudier leur importance sur le plan sensoriel. Dans un premier temps, les moyennes (n=18) de toutes les caractéristiques pour chacun des 3 muscles et chacun des 6 âges des animaux ont été calculées. Les qualités sensorielles ont été analysées en composantes principales. Les 2 premiers axes de cette analyse de qualité contiennent 78% de la variabilité totale (Figure 1). La tendreté initiale est très bien corrélée avec la tendreté globale (r = 0,98) et avec les notes de résidu après mastication (r = -0,88). La flaveur et la jutosité sont bien corrélées entre elles (r = 0,70) et sont indépendantes de l'axe de tendreté (Figure 1).

La projection sur le plan sensoriel des variables de la composition chimique et des caractéristiques de fibres avec celles des propriétés mécaniques met en évidence que la tendreté est bien corrélée avec la teneur en collagène total (r = 0,46) et en collagène insoluble (r = -0,44), les propriétés mécaniques (compression du muscle cru, r = -0,77, et cuit r = -0,77), la force de cisaillement de viande cuite (r = -0,55), le pH à 3 heures post-mortem (r = 0,71) ainsi qu'avec les pourcentages de fibres de type lent oxydatif (SO, r= 0,66) et rapide oxydo-glycolique

(FOG, r= -0,59). La viande plus dure tend à avoir des surfaces de fibres plus importantes (r= 0,45).
La flaveur et la jutosité sont corrélées avec le pourcentage de fibres de type rapide glycolique (FG, r = -0,56 et -0,80 respectivement) et avec la teneur en lipides totaux (r = +0,72 et +0,53 respectivement). Parmi toutes les viandes étudiées, celles des St sont souvent les plus dures, ayant peu de flaveur et ont tendance à être secs. Parmi les muscles, le TB a tendance à avoir plus de flaveur et à être plus juteux et les LT qui sont parmi les muscles les plus tendres. L'âge de l'animal joue un rôle dans les 2 axes de tendreté et de flaveur/jutosité selon le muscle.

Figure 1 Relations entre caractéristiques des fibres, composition chimique et propriétés mécaniques des 3 muscles (S= St; T= TB; L= LT) à 6 âges (15, 19, 24, 48, 72 et 96 mois) superposées sur un plan des qualités sensorielles (en gras).



Discussion

Parmi toutes ces viandes, il est apparu que les principaux facteurs de la variabilité de la qualité sensorielle sont le type de muscle (LT, St TB) et l'âge des animaux à l'abattage (entre 15 mois et 9 ans). La qualité n'est significativement affectée ni par la race (4 races de Massif Central) ni par le système de production (taurillons et vaches de réforme).
En prenant en compte les 497 échantillons étudiés, les coefficients de corrélation entre la composition chimique et la qualité sensorielle sont faibles et représentent moins de 10% de la variabilité de la qualité sensorielle. Nous avons pris une autre approche en considérant la variabilité due principalement aux muscles et à l'âge des bovins et en utilisant les moyennes d'une vingtaine d'échantillons (animaux). Cette approche a démontré que plus le diamètre des fibres, la teneur en collagène, le pourcentage de fibres de type FOG sont élevés, plus la viande a tendance à être dure. Un effet du diamètre des fibres sur la dureté de la viande a aussi été trouvé dans le muscle LT de 106 taurillons âgés de 14 à 21 mois (Renand *et al.*, 2001) bien que la surface des fibres ait été beaucoup plus grande pour nos animaux.
La glycolyse est importante pour la qualité, surtout pour la tendreté. Les viandes ont eu le même pH ultime (entre 5,4 et 5,6) mais celles qui ont eu une chute de pH plus lente ont été plus tendres. Ainsi, le pH à 3 heures post mortem constitue 52% de la variabilité de tendreté. Il a été proposé (Marsh *et al.*, 1988) que le pH à 3 heures pouvait être un indicateur de la tendreté et qu'une valeur de pH voisine de 6,1 conduirait à la viande la plus tendre. Par contre, selon une étude plus récente portant sur 444 bovins (Shakelford *et al.*, 1994), le pH mesuré très tôt après l'abattage n'apparaît pas bien corrélé avec la tendreté. Cependant, les résultats obtenus ici montrent que les échantillons les plus tendres (majoritairement le muscle LT) ont une chute lente de pH mais aussi la teneur en collagène la plus faible.
L'âge est un facteur qui joue un rôle dans la qualité des viandes mais son effet n'est pas systématique, en raison de ses effets non seulement sur la tendreté mais aussi sur la flaveur et la jutosité.
La flaveur a tendance à être plus marquée dans les viandes qui ont plus de lipides et moins de fibres de type FG. Ces résultats montrent que plus le pourcentage de fibres FG est élevé, plus la teneur en lipides a tendance à être faible (r = -0,57) ce qui peut être à l'origine de la diminution observée de la flaveur liée à l'augmentation du pourcentage de fibres de type FG.

Conclusion : La compréhension du déterminisme de la qualité de la viande nécessite la prise en compte de l'ensemble des variables de structure et composition du muscle.

Remerciements : Le Commissariat à l'Aménagement et au Développement Economique du Massif Central.

Références

Marsh, B.B., Ringkob, T.P., Russell, R.L., Swartz, D.R. et Pagal, L.A. 1988. *Reciprocal Meat Conf.* 41: 113
Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P. et Lepetit. J. 2001. *Meat Science* 59: 49-60.
Shakelford, S. D., Koohmaraie, M. et Savell, J. W. 1994. *Meat Science* 37: 195-204.

RECHERCHE D'INDICATEURS METABOLIQUES ET MOLECULAIRES DU PERSILLAGE DE LA VIANDE BOVINE

J.F. HOCQUETTE[1], C. JURIE[1], H. SABBOH[1], V. AMARGER[2], H. LEVEZIEL[2], D. BAUCHART[1], P. BOULESTEIX[3], D.W. PETHICK[4]

[1]INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, [2]Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, INRA/Université de Limoges, 87000 Limoges, [3]UPRA France Limousin Sélection, Lanaud, 87220 Boisseuil, France, [4]Murdoch University, Division of Veterinary and Biomedical Sciences, Perth, Australia 6150

Introduction

L'importance et la composition des dépôts lipidiques jouent un rôle essentiel dans la qualité des carcasses des bovins et dans certaines caractéristiques qualitatives de leurs viandes, que ce soit sur le plan sensoriel (flaveur, jutosité, tendreté) ou nutritionnel (teneurs en acides gras polyinsaturés et CLA) (Geay et al., 2002).

Le persillage de la viande bovine (c'est-à-dire les lipides intramusculaires visibles à l'œil nu) est un critère important de qualité de la viande dans les pays anglo-saxons et surtout asiatiques. Au Japon, la teneur en lipides intramusculaires peut excéder 20-30% pour la viande de qualité très supérieure. Pour obtenir une viande persillée, des bœufs de race précoce sont engraissés en « feedlot » avec des régimes très riches en céréales. Ces systèmes de production sont très coûteux car les carcasses ainsi produites contiennent beaucoup de tissus adipeux, bien entendu non valorisables. L'Australie exporte une forte proportion de sa production bovine vers le Japon. C'est pourquoi les chercheurs australiens essaient d'accroître les teneurs en lipides intramusculaires à un coût économique aussi faible que possible, c'est-à-dire sans augmenter l'adiposité de la carcasse.

Au contraire, en France, la teneur en lipides intramusculaires de la viande bovine est beaucoup plus faible, de l'ordre de 5% en moyenne (revue de Bas et Sauvant, 2001). En effet, le consommateur européen souhaite consommer une viande maigre, c'est à dire avec peu de lipides notamment saturés pour répondre à des exigences de qualité nutritionnelle (revue de Geay et al., 2002). Toutefois, chez le taurillon abattu jeune (vers 18 mois), la teneur en lipides intramusculaires peut s'avérer trop faible (moins de 2,5%) pour assurer un minimum de goût à la viande, et ceci d'autant plus que les races à viande européennes (Limousine par exemple) sont plus tardives que les races Angus ou Noire Japonaise utilisées aux USA, en Australie ou au Japon.

Quel que soit le pays, il est donc important de comprendre les mécanismes biologiques et génétiques qui permettent de maîtriser le persillage de la viande bovine. C'est pourquoi nous avons comparé le métabolisme musculaire de deux races (Angus, Limousin), la première produisant une viande très persillée contrairement à la seconde. Ce projet vise donc à tirer partie de cette variabilité génétique naturelle pour identifier les différences métaboliques et moléculaires des muscles qui sont associées aux différences de « persillage ».

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 22 bœufs abattus à l'âge de 23 mois de race Limousine (n=12, poids vif : 738 ± 35 kg) ou Angus (n=10, poids vif : 622 ± 40 kg). Les animaux Limousins ont été élevés à l'Installation Expérimentale de l'Unité de Recherche sur les Herbivores et abattus à l'abattoir expérimental du centre INRA de Theix, les bœufs Angus ont été élevés et abattus à l'Université Murdoch de Perth en Australie. Tous les animaux ont eu une durée de finition de 6 mois durant laquelle ils ont reçu un régime riche en céréales (environ 70 % de la ration) à base de triticale et de blé aplati. Après l'abattage, le muscle *rectus abdominis* (RA) et le muscle *semitendinosus* (ST) ont été prélevés, congelés dans l'azote liquide moins de 30 min *post-mortem*, puis conservés à –80°C. Les teneurs en triglycérides et les activités enzymatiques caractéristiques des métabolismes oxydatif (isocitrate déshydrogénase [ICDH] et cytochrome *c* oxydase [COX]) ou glycolytique (phosphofructokinase [PFK] et lactate déshydrogénase [LDH]) du muscle ont été mesurées comme précédemment décrits (Piot et al., 1999 ; Hocquette et al., 1995). Les teneurs en protéines de liaison des acides gras (FABP) spécifiques des adipocytes (FABP-A) ou du cœur et des muscles (FABP-H) ont été déterminées par Western-blot (Hocquette et al., 1995). Une étude approfondie de la structure et des polymorphismes de certains gènes a été réalisée par RT-PCR et séquençage.

Résultats

Les teneurs en triglycérides sont en moyenne 3,4 fois plus élevées dans le muscle RA que dans le muscle ST. Il y a également une forte différence entre races avec des teneurs en moyenne 4,4 fois supérieures chez les Angus, mais avec une différence plus grande dans le RA (69 ± 29,3 *vs* 15 ± 7,5 mg/g de muscle frais, $P < 0,001$) que dans le ST (22 ± 3,8 *vs* 5,4 ± 1,8 mg/g ; $P < 0,02$) (Figure 1).

Quelle que soit la race, les activités enzymatiques représentatives du métabolisme glycolytique (PFK, LDH) sont en moyenne 1,3 fois plus élevées dans le muscle ST que dans le muscle RA. Inversement, les activités enzymatiques représentatives du métabolisme oxydatif (ICDH, COX) sont en moyenne 2 fois supérieures dans le RA. Ces résultats attendus confirment les caractéristiques métaboliques connues de ces deux muscles.

Pour les deux muscles confondus, les activités enzymatiques représentatives du métabolisme glycolytique sont 1,4 fois plus élevées chez les Limousins que chez les Angus. Inversement, les activités enzymatiques représentatives du métabolisme oxydatif ainsi que les teneurs en FABP-H sont 1,5 fois plus élevées chez les Angus ($P < 0,005$). Les muscles des bœufs Angus sont donc clairement plus oxydatifs et moins glycolytiques que ceux des bœufs Limousins (Figure 1). L'ensemble de ces résultats permettent de classer les muscles du plus oxydatif au plus glycolytique : RA Angus > RA Limousin et ST Angus > ST Limousin (Figure 1).

Les teneurs en FABP-A, protéine seulement exprimée dans les adipocytes, sont 2 fois plus élevées dans les muscles RA des bovins Angus comparativement aux Limousins ($P < 0,002$), mais aucune différence entre races n'a été observée dans le ST (Figure 1). Elles sont également plus élevées (x 4,5) dans le muscle RA que dans le muscle ST mais surtout chez les bovins Angus ($P < 0,001$). La variabilité entre muscles de la teneur en FABP-A, est donc parallèle (surtout entre races au niveau du RA) à la variabilité de la teneur en triglycérides intramusculaires précédemment décrite.

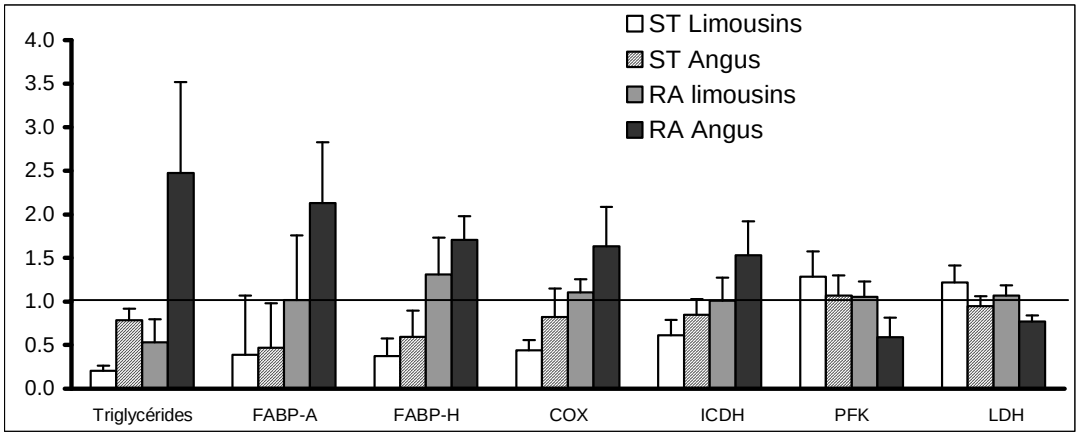


Figure 1 : Représentation graphique des caractéristiques métaboliques du RA chez les bœufs Angus et les bœufs Limousins après transformation des données en valeurs centrées par rapport à un (moyenne ± Ecart-type).

Des polymorphismes au niveau de la séquence de gènes associés à la migration, la différentiation et le fonctionnement des adipocytes ont été observés entre deux individus appartenant à chacune des deux races. En particulier, la séquence codante du gène FABP-A présente plusieurs polymorphismes dont certains entraînent un changement de la séquence protéique. Le gène PAI-1, intervenant dans la migration des adipocytes, présente également des polymorphismes affectant sa séquence protéique. Quant au gène PPAR gamma, impliqué dans la régulation de la différenciation des adipocytes, des résultats préliminaires montrent la présence de transcrits alternatifs mineurs spécifiques chez des individus de race différente. Ces observations restent à corréler avec les caractéristiques de la viande et doivent être étendues à l'ensemble des individus de cette étude.

Conclusion

Les différences entre races des teneurs intramusculaires en triglycérides (indicateur du "persillage") et en FABP-A (indicateur de l'importance du tissu adipeux intramusculaire) sont plus marquées pour le RA (muscle oxydatif) que pour le ST (muscle glycolytique). La teneur en FABP-A semble donc être une caractéristique du tissu musculaire importante pour le "persillage" de la viande bovine. Les différences entre races de "persillage" de la viande sont également associées à une orientation des muscles vers un type plus oxydatif et moins glycolytique même si les différences sont d'amplitude relative plus faible que pour les teneurs en lipides intramusculaires. Les différences de "persillage" entre races peuvent également être associées à des polymorphismes génétiques mais cela reste à être confirmé par des études complémentaires.

Références

Bas P., Sauvant D., 2001. INRA Prod. Anim. , 14, 311-322.
Geay Y., Bauchart D., Hocquette J.F., Culioli J., 2002. INRA Prod. Anim. 15, 37-52.
Hocquette J.F., Bornes F., Balage M., Ferré P., Grizard J., Vermorel M., 1995. Biochem. J., 305, 465-470.
Piot C., Hocquette J.F., Veerkamp J.H., Durand D., Bauchart D., 1999. Brit. J. Nutr., 82, 299-308.

Remerciements

Ces résultats ont été obtenus dans le cadre des Contrats de Recherche (i) n°B03084 entre l'INRA et l'Association Française de Coopération Industrielle avec l'Australie (AFCRIA) (ii) n°B04017 entre l'INRA et l'UPRA France Limousin sélection (Financement FNADT) et (iii) n°A011581 entre l'INRA et le Ministère de la Recherche (Contrat AQS). Les auteurs remercient les différents organismes qui ont financé ces travaux, le personnel de l'Installation Expérimentale de l'URH et le personnel de l'abattoir pour la conduite et l'abattage des animaux et l'ensemble du personnel technique de l'URH qui a réalisé les prélèvements et les analyses des échantillons.

ETUDE HISTOLOGIQUE DES VIANDES DESTRUCTUREES DE PORCS. COMPARAISON ENTRE UN MODELE EXPERIMENTAL ET DES JAMBONS INDUSTRIELS

R. LABAS, L. CHANIER, C. GARRIDO, L. MAUNIER, R. TAYLOR, T. ASTRUC et E. LAVILLE.
INRA Theix Station de Recherches sur la Viande 63122 Saint - Genès - Champanelle.

Introduction.

Le problème des viandes déstructurées de porcs a fait l'objet de diverses études (entre autres Balac et coll., 1998 ; Franck et coll., 1999; Minvielle et coll., 2001). Afin de mieux expliciter ce phénomène, la recherche d'un modèle expérimental permettant de le reproduire a été entreprise . Les récents travaux de Franck et coll. (2002) ayant montré que l'importance des lésions est très liée au niveau de stress avant l'abattage, des animaux ont été soumis à divers stress émotionnels et physiques (voir la communication de Laville et coll.). Une étude histologique a été menée sur les muscles provenant de ces porcs expérimentaux en comparaison avec des muscles issus de jambons industriels déstructurés, afin de vérifier la validité de ce modèle.

Matériels et méthodes.

L'étude histologique sur notre modèle expérimental a porté sur des animaux présentant, à 24 heures *post mortem*, des lésions des muscles *Semi-membranosus, Adductor ou Rectus femoris*. On a comparé des prélèvements réalisés à 1 heure post mortem (muscle *Semi-membranosus*), et à 24 heures post mortem (zones saines et lésées d'un même muscle)

Fig. 1 : Evaluation de l'espace extra-cellulaire en grisé

Après une congélation instantanée des échantillons dans de l'isopentane refroidi par de l'azote liquide (-160°C), des coupes de 10 µm, transversales et longitudinales par rapport à l'axe des fibres, ont été réalisées à –20 °C à l'aide d'un cryostat. La coloration hématoxyline-éosine-safran a été utilisée.

Des images numériques noir et blanc et couleur ont été acquises à l'aide d'un microscope Polyvar, de caméras et d'un micro-ordinateur équipé d'une carte d'acquisition Matrox meteor et du logiciel Visilog 5.4 (Noesis). Ce même logiciel a permis de développer un algorithme permettant d'évaluer par seuillage sur les niveaux de gris la taille de l'espace extracellulaire.(fig. 1)

Un autre algorithme de traitement d'images développé à partir de Visilog 5.4 a permis d'évaluer la taille des fibres musculaires et un indice de forme de leur section transversale.

Une étude similaire a été réalisée sur 10 jambons industriels présentant des lésions de viande déstructurée sur les muscles *Semi-membranosus* (SM) ou *Vastus lateralis* (VL). Une approche par microscopie électronique a également été mise en œuvre afin de caractériser les lésions au niveau ultrastructural

Résultats.

1- Modèle expérimental . Les coupes réalisées à 1h *post mortem* montrent une structure normale. Les fibres sont jointives. Aucune altération particulière n'est perçue. L'observation des coupes 24h *post mortem* met en évidence des différences importantes entre les échantillons de zones saines et de zones lésées. Les lésions se manifestent au niveau histologique par un espace extracellulaire très augmenté: zone saine 13,8 % vs. zone lésée 31,4 % ; $P < 0,001$ (Fig. 2).

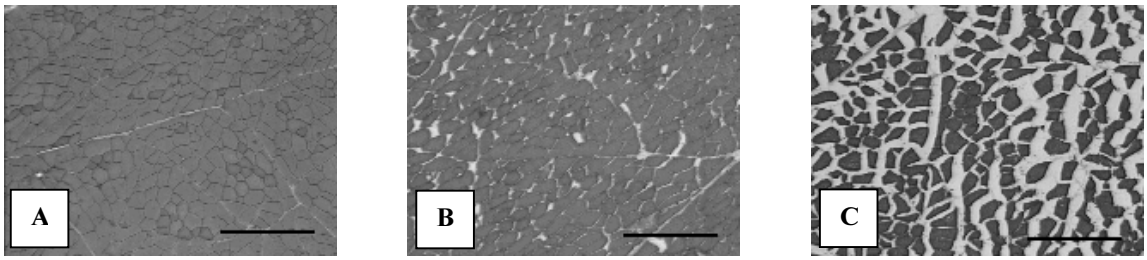


Fig. 2 : Coupes transversales 1h post mortem (A) 24 h post mortem sain (B) 24h post mortem lésé (C) barre = 0,5mm

Logiquement, la surface transversale des fibres musculaires est supérieure dans les zones saines par rapport aux zones lésées, avec une différence significative (4686 $\mu m^2 \pm 1604$ vs 3826 $\mu m^2 \pm 1097$; $P = 0,04$ *)

Il n'y a pas de différence significative pour l'indice de forme des fibres musculaires.

Les coupes longitudinales sur les zones lésées font apparaître des fibres musculaires présentant soit des ondulations (fig. 3A) soit des fractures (fig. 3B).

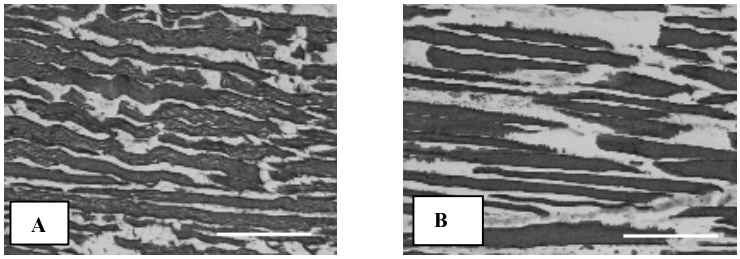
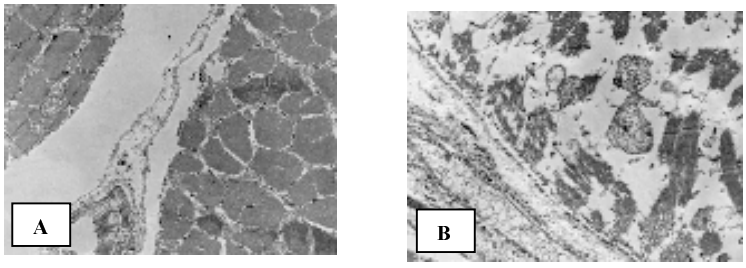


Fig. 3 Coupes longitudinales de zones lésées : fibres ondulées (A), fibres cassées (B). barre = 0,5 mm



L'étude ultrastructurale confirme par comparaison entre une zone saine (A), et une zone lésée (B), la désorganisation de la structure et la fracture des myofibrilles.
Grossissement : x 4500

Fig. 4 : Microscopie électronique

2- Jambons industriels : L'étude histologique des échantillons déstructurés présente au niveau des coupes transversales un espace extracellulaire important comme dans le modèle INRA. Sur les coupes longitudinales, nous retrouvons également des fibres musculaires présentant des ondulations et des fibres musculaires rompues .

Les échantillons issus de jambons industriels présentent également des zones désorganisées particulières associées avec des fibres cassées (fig 5). Dans ces régions, il y a accumulation de matière amorphe et de tissu conjonctif qui pourrait évoquer des lésions en cours de réparation (souligné par une flèche sur les photos).

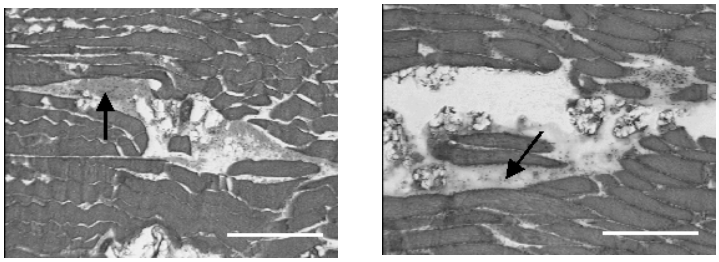


Fig. 5 zones déstructurées amorphes barre = 0,5 mm

Conclusions et perspectives.

Cette étude confirme les observations précédentes de Franck et coll. (1999) et Minvielle et coll. (2001) selon lesquelles les viandes déstructurées présentent les caractéristiques histologiques classiques des viandes PSE: fibres ondulées, fibres rompues et augmentation de l'espace extracellulaire. Elle montre que notre modèle expérimental associant stress émotionnel et physique a permis de reproduire les altérations rencontrées au niveau des jambons industriels déstructurés. Ce travail sera poursuivi pour caractériser les mécanismes en cause en utilisant des méthodes immunohistologiques et ultrastructurales et en étudiant le rôle de la microvascularisation.

Bibliographie.

Balac D., Bazin C., Le Treut Y., 1998, Recherche de facteurs pouvant influencer l'apparition du syndrôme des jambons déstructurés. Polish J. of Food and Nutr. Sci., 7/48, n°4

Franck M., Bénard G., Fernandez X. et coll., 1999, Observations préliminaires sur le jambon déstructuré ; description du phénomène et étude de quelques facteurs de variation, J. Rech. Porcine en France, 31, 331-338.

Minvielle B., Le Strat P., Le Bret B., Houix Y., Boulard J., Clochefert N.2001, Viandes déstructurées: situation dans 5 abattoirs de l'Ouest de la France : facteurs de risque et propositions d'un modèle - caractérisation colorimétrique, biochimique et histologique. Journées Rech. Porcine France, 33, 95-101.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme AQS 00 P0577 du Ministére de la Recherche "Approches explicatives, diagnostique et préventive des viandes déstructurées dans la filière porcine" en collaboration avec l'ITP, le CTSCCV et l'ENV-Lyon (responsable scientifique Gabriel Monin, INRA).

TRAÇABILITE DES PRODUITS D'ORIGINE BOVINE AU MOYEN DE TESTS MOLECULAIRES PORTANT SUR LES GENES CONTROLANT LA COLORATION DE LA ROBE

S. GUIBERT[1], M. GIRARDOT[1], F. ROUZAUD[1], J. MARTIN[1], M-P. LAFORET[1], F. MENISSIER[2], H. LEVEZIEL[1], M. BOICHARD[3], R. JULIEN[1], A. OULMOUDEN[1]

[1] Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, INRA/Université de Limoges, Faculté des Sciences, Limoges ; [2] Station de Génétique Quantitative et Appliquée, INRA, Jouy-en-Josas ; [3] Laboratoire de Génétique Factorielle, INRA, Jouy-en-Josas

Introduction

Les crises alimentaires survenues récemment en Europe (ESB, hormones, dioxine), affectant notamment la filière viande, ont suscité de nouvelles exigences chez les consommateurs en matière de caractérisation, de traçabilité et de sécurité sanitaire des aliments qui leur sont proposés. Dans ce contexte, les consommateurs désirent être informés sur l'origine des produits : la notion de terroir est devenue essentielle pour les filières de qualité, car associée à un système d'élevage valorisant les races locales, soucieux du bien-être des animaux et respectueux de l'environnement. Cependant, il n'existe pas actuellement de critère objectif simple pour garantir l'origine raciale d'un produit.

Les marqueurs génétiques sont des outils puissants pour divers objectifs incluant la cartographie des génomes et l'identification de QTLs. Qu'ils soient anonymes (microsatellites) ou liés à un phénotype (gènes de la coloration, par exemple), ils constituent également des outils efficaces pour la traçabilité des denrées alimentaires, en particulier dans le cas des produits carnés. Mais, les méthodes basées sur l'emploi de marqueurs microsatellites, très performantes en terme de traçabilité individuelle, sont insuffisantes en matière de traçabilité raciale : si elles permettent d'affecter un individu à une race avec une probabilité élevée, elles ne conviennent pas pour certifier la conformité à des critères précis comme ceux concernant la couleur de la robe, spécifiés dans le standard racial. Nos travaux, dédiés à l'étude du polymorphisme du gène extension et d'autres gènes de la coloration, montrent que comprendre leur rôle dans la coloration de la robe conduit à élaborer des outils permettant d'attester l'origine raciale et la typicité d'un produit de qualité, issu d'une race bovine connue.

Matériel et méthodes

Des animaux non-apparentés et appartenant à différentes races bovines (Tableau 1), possédant chacune une couleur de robe caractéristique, ont été étudiés notamment pour le génotype du gène extension. L'ADN génomique a été préparé à partir d'échantillons de sang selon une technique standard d'extraction. La partie codante du gène *MC1R* (ou gène extension*)* a été obtenue par amplification PCR et l'identification des différents allèles de *MC1R* pour chacune des races étudiées a été effectuée par PCR-RFLP (Rouzaud *et al*., 2000).

La partie codante des autres gènes a été obtenue par amplification PCR à l'aide d'amorces dégénérées déduite de la comparaison de séquences des gènes humain et murin. Leur polymorphisme a été analysé par séquençage.

Résultats et discussion

Les allèles MC1R chez le bovin

Le gène *MC1R* code pour le récepteur mélanocytaire (Mc1r) de l'hormone α-MSH (α-melanocyte-stimulating hormone) qui appartient à la famille des récepteurs à sept domaines transmembranaires couplés aux protéines G. La fixation de l'α-MSH au récepteur stimule, via une voie de transduction du signal, l'activation des gènes de la mélanogenèse, et favorise la synthèse de pigment noir (eumélanine). L'autre ligand du récepteur, produit du gène agouti, « antagonise » l'action de l'hormone et contrôle la synthèse de pigments rouge/jaune (phaeomélanine). Plusieurs allèles de *MC1R* ou d'autres gènes ont été décrits chez la souris, animal modèle (Nakamura *et al*. 2002), et ils conduisent à des phénotypes de coloration variables, dans les gammes du noir et du rouge.

Nous avons mis en évidence 4 allèles (*E, e, E1, E^D*) du gène *MC1R* chez les bovins. L'allèle « sauvage » *E*, code un récepteur de 317 acides aminés et son activité serait modulable par la liaison de l'α-MSH et la protéine Agouti. L'allèle *E1* se caractérise, comparativement à l'allèle *E* de référence, par une duplication de 12 nucléotides, soit 4 acides aminés supplémentaires au niveau de la troisième boucle intra-cytoplasmique du récepteur (boucle impliquée dans l'interaction de la protéine G lors de l'activation du récepteur par l'α-MSH). Cette modification structurale affecterait la transduction du signal du récepteur et par là même participe à la définition de la couleur de la robe. Les 2 autres allèles sont caractérisés, pour *e*, par une délétion qui change le cadre de lecture et conduit à un récepteur tronqué, et pour E^D, par une mutation qui aboutit à la substitution d'une leucine par une proline, rendant le récepteur constitutionnellement actif et engendrant le phénotype noir.

Ces différents polymorphismes conduisent à l'apparition-disparition de sites de clivage pour les enzymes *Aci*I et *Bsrf*I. Aussi, après amplification d'un fragment d'ADN génomique à l'aide d'amorces PCR appropriées et digestion des amplifiats obtenus par les 2 endonucléases, il est possible de déterminer le génotype d'un animal selon une analyse en PCR-RFLP des profils obtenus. La Figure 1 donne le principe du test de génotypage.

Autres gènes de la coloration

Des démarches similaires à celles entreprises pour le gène extension le sont pour les gènes agouti (*ASIP*), tyrosinase (*TYR*), *TRP1*, *TRP2*, *RAB27A*, *RAB38*, melanophilin (*MLPH*) etc …

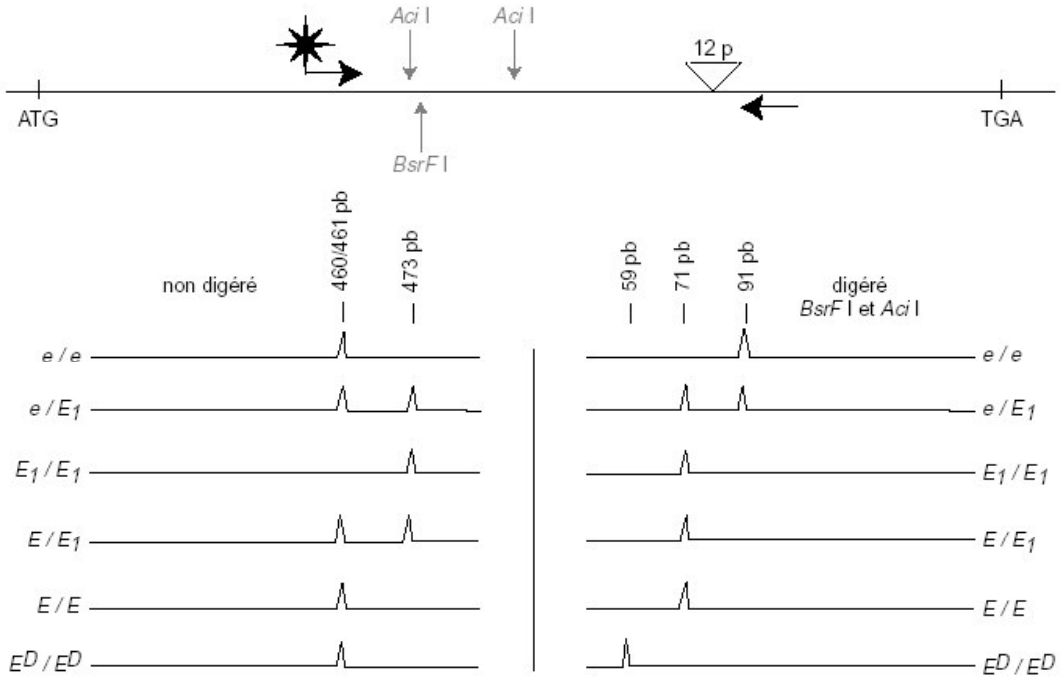


Figure 1. Les amorces sont choisies de manière à amplifier un fragment recouvrant la zone où sont situées les mutation/délétion/insertion. Après double digestion, le génotype est déterminé par l'analyse de la taille des fragments

	Génotypes				
Races	*e/e*	E_1/E_1	E/E_1	*E/E*	E^D/E^D
Aubrac	-	43	18	7	-
Gasconne	-	23	23	18	-
Blonde d'Aquitaine	27	-	-	-	-
Charolaise	59	-	-	-	-
Limousine	42	-	-	-	-
Salers	56	-	-	-	-
Normande	-	-	-	75	-
Prim'Holstein	-	-	-	-	87

Le **Tableau 1** récapitule des exemples de génotypes rencontrés au gène *MC1R* (extension) chez quelques centaines d'individus appartenant à diverses races bovines françaises

Conclusion

Les premières analyses du polymorphisme du gène *MC1R* (Tableau 1) montrent qu'une assez bonne discrimination entre les races ou des groupes de races peut être constatée. A titre d'exemple, des produits issus de bovins de race Holstein se caractérisent par la présence de l'allèle E^D. Néanmoins, les allèles du gène *MC1R* ne permettent pas de discriminer, à eux seuls, les races au sein d'un même groupe (Blonde d'Aquitaine, Charolaise, Limousine ou Salers par exemple).

Des résultats préliminaires obtenus au laboratoire suggèrent que la régulation transcriptionnelle du gène *MC1R* diffère selon races. Cette observation pourrait être exploitée pour améliorer les méthodes de traçabilité recherchées. Par ailleurs, la mise en évidence d'autres allèles de gènes de coloration favoriserait la construction d'une combinaison allèlique qui devrait aboutir à une identification fine des diverses populations bovines. Dans cette perspective, le polymorphisme des gènes de la famille tyrosinase (*TYR*, *TRP1*, *TRP2*), impliqués directement dans la synthèse des mélanines, ainsi que les gènes impliqués dans le transport des mélanosomes (organites mélanocytaires, siège de la synthèse des mélanines) vers le poil en croissance, sont en cours d'étude.

Références

Rouzaud, F., Juliette, M., Gallet, P.F., Delourme, D., Goulement-Leger, V., Amigues, Y., Ménissier, F., Levéziel, H., Julien, R., Oulmouden, A., 2000. A first genotyping assay of French cattle breeds based on a new allele of the *extension* gene encoding the melanocortin-1 receptor (Mc1r). *Genet. Sel. Evol.* **32**, 511-520.

Nakamura, M., Tobin, D.J., Richards-Smith, B., Sundberg, J.P., Paus; R., 2002. Mutant laboratory mice with abnormalities in pigmentation : annotated table. *Journal of Dermatological Science*, **28**, 1-33.

Remerciements

Nous remercions les collègues des différentes UPRA et de Labogena qui nous ont aidés pour l'obtention des échantillons de sang ou d'ADN d'individus des différentes races bovines françaises. Les tests de génotypage ont été effectués par Labogena à Jouy-en-Josas (contact : Y. Amigues).

GENES BOVINS ET QUALITE DES VIANDES : PRESENTATION DU PROGRAMME EUROPEEN GEMQUAL

H. LEVEZIEL[1], V. AMARGER[1], D. DELOURME[1], R. JULIEN[1], G. RENAND[2], R. JAILLER[3], J.F. HOCQUETTE[3]

[1]Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, INRA/Université de Limoges, Limoges ; [2]Station de Génétique Quantitative et Appliquée, INRA, Jouy-en-Josas ; [3]Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA, Theix

Introduction

Le programme européen GemQual (**Ge**netics of **m**eat **Qual**ity) a pour objectif l'identification de gènes contrôlant une partie de la variabilité des caractéristiques de qualité des viandes bovines. Il est coordonné par John Williams (Roslin Institute, Edimbourg, Ecosse), regroupe 9 partenaires issus de 5 pays (Danemark, Espagne, France, Italie, Royaume Uni) et le site internet www.gemqual.org donne accès à l'ensemble des informations. Il repose d'une part sur l'élevage de lots d'animaux non apparentés, représentatifs des races à viande étudiées, et sur la collecte après leur abattage de données relatives aux qualités des carcasses et des viandes. Il repose d'autre part sur la mise en évidence et l'utilisation de polymorphismes de type mutations ponctuelles (appelés SNP pour « Single Nucleotide Polymorphism »), dans ou à proximité de gènes d'intérêt (aussi nommés gènes « candidats ») choisis sur la base des connaissances de leur fonction physiologique. Après analyse génétique (génotypage) des animaux pour les polymorphismes considérés, l'examen statistique des données visera à détecter l'existence de relations entre la présence de certains allèles et les caractéristiques phénotypiques mesurées (on parle d'associations dans ce type d'étude sur des populations).

Matériel et méthodes

Animaux : au total 16 races sont examinées, dont les races Charolaise et Limousine en France. Pour chaque race, 30 taurillons non apparentés ont été conduits dans des conditions aussi « standardisées » que possible. La période de finition est au moins de 4 mois avec un régime riche en céréales (contenant environ 80% d'orge) distribué à volonté. Ce régime de finition est peu utilisé en France. Les animaux sont abattus entre 13 et 17 mois à un poids correspondant à 90% du poids adulte de la femelle de la race (soit respectivement 630 et 570 kg pour les Charolais et Limousins).

Mesures : de nombreuses mesures sont réalisées par l'un ou l'autre des partenaires, soit au moment de l'abattage (pH, perte en eau), soit de manière différée sur des échantillons musculaires congelés (couleur, texture, analyse sensorielle, teneur en lipides, composition en acide gras, métabolisme du muscle, type de fibres, activité des protéases …).

Choix des gènes : les gènes candidats étudiés sont retenus sur la base des connaissances biologiques disponibles et aussi en tenant compte des résultats de projets conduits selon d'autres approches (recherche de QTL, analyse du transcriptome) ou chez d'autres espèces de mammifères.

Recherche de polymorphismes SNP : pour chaque gène, une analyse bio-informatique est réalisée à partir des informations de séquences disponibles dans les bases de données, en particulier issues des programmes de séquençage systématique d'étiquettes bovines (ou ESTs pour « Expressed Sequences Tags ») ou du projet génome humain. Cette analyse conduit au choix de 2 à 4 paires d'amorces pour amplifier, par PCR et à partir d'ADN génomique, des fragments d'environ 200 à 400 paires de bases. Ces fragments sont analysés par électrophorèse SSCP (« Single Strand Conformation Polymorphism ») dans le but d'identifier des profils différents, parmi quelques échantillons issus des diverses races, et indiquant la possible existence de variation dans les séquences d'ADN. Les fragments ainsi repérés sont alors soumis à un séquençage afin de déterminer les mutations ponctuelles et donc les polymorphismes SNP.

Résultats

Le programme a débuté en février 2001 pour une durée de 56 mois. Les équipes se sont réunies à deux reprises, à Rome en septembre 2001 et à Theix en février 2002. Le tableau 1 précise la liste des 16 races étudiées et le calendrier prévisionnel d'abattage. Mis à part au Royaume-Uni, le recrutement des animaux s'est déroulé comme programmé et 195 des 480 individus ont été ou seront abattus en 2002.

Tableau 1 : Contribution des partenaires, races étudiées, dates prévisionnelles d'abattage et effectifs.

Pays	Races	Dates d'abattage	Effectif
Danemark.	Holstein, Red Cattle, Simmental	Oct-Nov 2002 Oct-Nov 2003	45 45
Espagne	Asturiana de los Valles, Avileña , Casina, Pirenaica	Mai-Juin 2002 Mai-Juin 2003	60 60
Italie	Marchigiana, Piemontesa	Juin-Juillet 2002 Juin-Juillet 2003	30 30
France	Charolais, Limousin	Fév-Juin 2002	60
Royaume Uni	Aberdeen Angus, Hereford, Highland, Jersey, South Devon	2003	150

En France, tous les animaux ont été abattus, en 10 séries, entre février et juin 2002, et les prélèvements ont été réalisés selon un protocole commun élaboré par les partenaires dans le cadre du programme. A noter que l'abattage d'un animal

non expérimental a eu lieu début février, lors de la réunion GemQual à Theix, pour s'assurer en pratique de la faisabilité du protocole. Pour atteindre les objectifs annoncés en terme de poids, les taurillons Charolais et Limousins ont été abattus à 14 et 15 mois respectivement, ce qui est jeune pour ces deux races à viande de maturité physiologique tardive (Tableau 2), mais le régime de finition riche en énergie a permis d'atteindre un état d'engraissement correct. Les Charolais avaient des carcasses plus grasses et un rendement en carcasse plus faible que les Limousins. Par ailleurs, le pH du muscle *longissimus thoracis* était plus élevé à 3 h *post-mortem* chez les Charolais, mais plus faible à 24 h. Le pH ultime, mesuré à 48 h, et les pertes en eau pendant 48 h étaient similaires entre les deux races.

Tableau 2 : Caractéristiques des taurillons des races Charolaise et Limousine abattus à Theix (*** : P<0,001 ; ** : P<0,01).

Mesures	Charolais	Limousin
Vitesse de croissance (kg/j)	1.53 ± 0.244	1.46 ± 0.165
Age à l'abattage (mois)	15.1 ± 0.71	14.0 ± 0.75***
Poids vif à l'abattage (kg)	634 ± 40.0	565.4 ± 30.3***
Poids de carcasse chaude (kg)	380 ± 27.0	354 ± 20.3***
Rendement en carcasse (% ; Poids de carcasse / poids vif vide)	66.9 ± 1.36	68.6 ± 1.08***
Dépôt adipeux de la carcasse (% du poids vif vide)	14.4 ± 1.34	13.1 ± 1.87**
pH du muscle *longissimus thoracis* à 3 heures	6.56 ± 0.278	6.24 ± 0.249***
pH du muscle *longissimus thoracis* à 24 heures	5.57 ± 0.170	5.90 ± 0.233***
pH du muscle *longissimus thoracis* à 48 heures	5.55 ± 0.102	5.59 ± 0.176
Perte en eau en 48 h (%)	3.30 ± 1.233	3.58 ± 0.961

En plus de l'ADN génomique des taurillons, celui des parents a également été isolé afin de faciliter l'analyse génétique ultérieure. Une liste de gènes d'intérêt a été élaborée par les partenaires : elle comporte actuellement plus de 450 gènes retenus pour leur implication dans le développement, la différentiation et la croissance du muscle, dans le contrôle de sa composition, de sa texture et des métabolismes glucidiques ou lipidiques, et dans sa transformation en viande lors de la maturation. Cette liste est enrichie en permanence et servira à la sélection d'environ 300 gènes devant faire l'objet d'une recherche de polymorphismes. A ce jour, 194 d'entre eux ont été répartis entre les quatre laboratoires engagés dans l'identification de SNP. Le tableau 3 donne à titre d'exemple la situation pour quelques gènes étudiés à Limoges.

Tableau 3 : Caractéristiques moléculaires des gènes étudiés (amplifiés et de polymorphismes identifiés).

Gène	Séquence Humaine [a]	Structure humaine [b]	Séquences bovines [c]	Nombre de fragments amplifiés	Nombre de polymorphismes
CAST	NM_006936	36 exons	AF159246 + 18 EST	3	1
LPL	XM_044682	10 exons	M16966 + 10 EST	4	6
MC5R	NM_005913	1 exon	AJ002024	4	2
PAI-1	NM_000602	9 exons	X16383 + 9 EST	3	6
PRKAG3	NM_017431	13 exons	7 EST	5	7
RYR1	U48508	105 exons	6 EST	3	1

[a] numéro d'accession de la séquence génomique humaine de référence ; [b] nombre d'exons chez l'homme ; [c] pour les séquences bovines, numéro d'accession de la séquence d'ADNc et/ou nombre d'EST, répertoriées dans Genbank.

Conclusion

Au cours de la première année, deux lots de 30 taurillons de race Charolaise et Limousine ont été élevés et abattus à Theix. Les partenaires ont élaboré un protocole détaillé pour les prélèvements et les méthodes de mesure et d'analyse. Ils ont défini une stratégie pour identifier des SNP et les travaux sont engagés à Limoges pour environ cinquante gènes . Les efforts durant les deux années à venir porteront essentiellement sur la recherche de polymorphismes. Ensuite, la détermination des génotypes de tous les animaux pour tous les SNP identifiés devra être réalisée. Enfin, l'analyse des associations possibles entre génotypes et performances sera conduite et elle devrait révéler des gènes dont l'étude plus approfondie sera à entreprendre. En définitive le programme GemQual assurera l'acquisition de données détaillées sur la qualité des viandes dans 16 races européennes et permettra d'identifier des polymorphismes pour plusieurs centaines de gènes d'intérêt. Par ailleurs, il peut être indiqué que ce programme se place en complète synergie avec d'autres projets en cours, consacrés, soit à l'analyse de la variabilité de l'expression des gènes dans diverses situations selon une approche de génomique fonctionnelle (comparaison de génotypes ou de régimes alimentaires), soit à l'analyse de la coségrégation des marqueurs génétiques et des performances dans des familles de taille importante selon une approche de détection de QTL (expérience du Vachotron).

Remerciements
Nous remercions (i) les personnes qui ont contribué à la constitution des lots d'animaux, (ii) l'équipe « Bovins en Croissance » de l'URH (Theix) qui a conduit leur élevage et réalisé les prélèvements de sang (H. Tournadre, S. Rudel, P. Faure). (iii) l'équipe de l'abattoir du Centre INRA de Clermont-Ferrand/Theix, (iv) Labogena (Y. Amigues ; Jouy-en-Josas) pour les extractions d'ADN, et (v) A. Delavaud (URH) pour les prélèvements et les mesures de pH et de perte en eau. Le programme GemQual bénéficie du soutien financier de l'Union Européenne (QLK5 CT 2000-147).

QUANTIFICATION DE L'ORGANISATION DU RESEAU CONJONCTIF PERIMYSIAL DU MUSCLE DE BOVIN.

MAUNIER L. (a), CHANIER L. (a), LABAS R. (a), TAYLOR R. (a), BERGE P. (a), LISTRAT A. (b), CULIOLI J.(a).

(a) Station de Recherches sur la Viande.
(b) Unité de Recherches sur les Herbivores.
INRA Theix, 63122 St-Genès-Champanelle.

La participation du réseau conjonctif à la dureté de la viande a été, jusqu'à présent, considérée comme étant principalement la résultante de la quantité et de la solubilité thermique du collagène intramusculaire. Par contre, l'organisation spatiale du réseau conjonctif, bien qu'ayant été reliée par certains auteurs à la tendreté de la viande (Brady, 1937 ; Cooper *et al.*, 1968 ; Dumont et Schmitt, 1973), a été moins étudiée.
Il a été montré, en effet, que la taille de faisceaux de myofibres, définie par la trame conjonctive périmysiale et caractérisant le grain de la viande, est corrélée à la force maximale de cisaillement. D'une manière générale, plus le faisceau est grand, plus la texture est fine et plus la résistance mécanique est faible (Brady, 1937). La taille des faisceaux de fibres du *Longissimus* de bovin a également été corrélée avec la tendreté évaluée par analyse sensorielle (Cooper *et al.*, 1968). Il a été montré, en outre, que les muscles de bovins de type culard, ont une trame conjonctive moins épaisse et plus homogène, définissant des faisceaux plus grands et moins hiérarchisés, (Dumont et Schmitt, 1973) conduisant à une viande plus tendre. Norman (1982) a, par ailleurs, observé que la différence de tendreté entre les animaux d'espèce *Bos indicus* et *Bos taurus* s'accompagnait d'une variation de la taille du grain de la viande (en plus des différences dans l'équipement protéolytique). Cet auteur a observé que la viande des animaux *Bos indicus*, moins tendre et qui mature moins vite, présente un grain plus grossier avec des faisceaux plus grands et des dépôts de tissu conjonctif plus importants, que celle des animaux *Bos taurus* (Norman, 1982). Il apparaît donc que non seulement la taille des faisceaux musculaires, mais aussi l'épaisseur de la trame conjonctive, sont des paramètres caractéristiques de l'organisation du réseau qui doivent être pris en compte dans l'analyse du déterminisme de la tendreté de la viande.
La présente étude avait pour objectif de déterminer si la race (rustique ou laitière) des animaux pouvait influencer l'organisation de la trame conjonctive musculaire et si des paramètres caractéristiques de cette organisation pourraient servir d'indices de tendreté.

Matériel et méthodes :

L'étude a été réalisée sur le muscle *Semimembranosus* de deux groupes de 12 vaches de réforme de 6-7 ans de races Holstein (vaches laitières) et Salers (vaches rustiques) finies et abattues au centre INRA de Theix. Des cubes de muscle de 2x2x1cm, prélevés à 1h *post-mortem* et congelés dans de l'isopentane refroidi à l'azote liquide (-160 °C), ont été utilisés pour réaliser des coupes histologiques de 10 µm d'épaisseur et de 1,25 cm² de section. La trame périmysiale a été ensuite révélée par coloration au rouge Sirius, spécifique du tissu conjonctif (Liu *et al.*, 1994).
Trois images numériques par échantillon ont été obtenues à l'aide d'un banc optique équipé d'une caméra noir et blanc JAI M300, munie d'objectif macroscopique. Un filtre vert a été utilisé afin d'améliorer le contraste (fig. 1a). La trame conjonctive des coupes musculaires a été redessinée manuellement grâce à l'éditeur d'images Paint Shop Pro 7 (Jasc, USA) (fig. 1b). Les images, ainsi retouchées, ont été soumises à un algorithme de traitement basé sur l'outil morpho-mathématique du watershed (ou ligne de partage des eaux), implémenté sur le logiciel d'imagerie Visilog 5.4 (Noesis, France). Le traitement a permis de séparer les faisceaux sous forme d'objets de couleur aléatoire et d'en calculer leur aire (fig. 1c). Une distribution en taille de ces objets a ensuite été réalisée pour quantifier l'organisation du réseau.

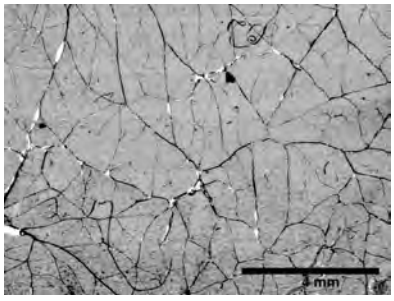


Fig.1a : coupe de muscle Semimembranosus bovin colorée au rouge Sirius.

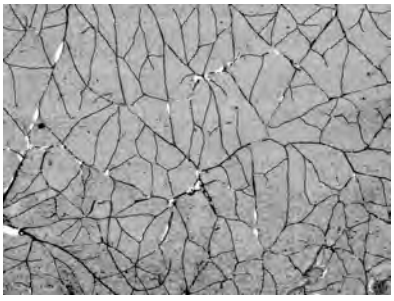


Fig.1b : extraction manuelle de la trame conjonctive.

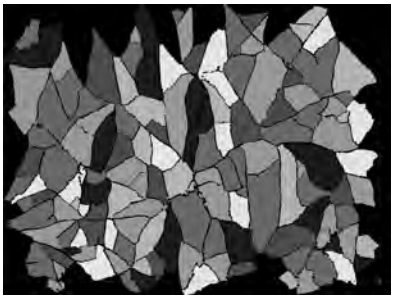


Fig.1c : identification et labellisation des faisceaux musculaires.

Résultats :

	Taille des faisceaux (mm^2)	Teneur en collagène intramusculaire (µg d'OH-Pro /g de muscle frais)
Salers	0,169 ± 0,051 (a)	772 ± 123 (a)
Holstein	0,144 ± 0,034 (a)	875 ± 105 (b)

Tableau 1 : valeurs moyennes des paramètres caractérisant l'organisation du réseau conjonctif. Lettres différentes(a,b) : différence significative (p<0,05)

La taille des faisceaux de myofibres n'apparaît pas significativement influencée par la race (p>0,05). Par contre, la teneur en collagène intramusculaire des échantillons de muscle des animaux Holstein est significativement plus élevée que celle observée chez les animaux Salers (p<0.05).

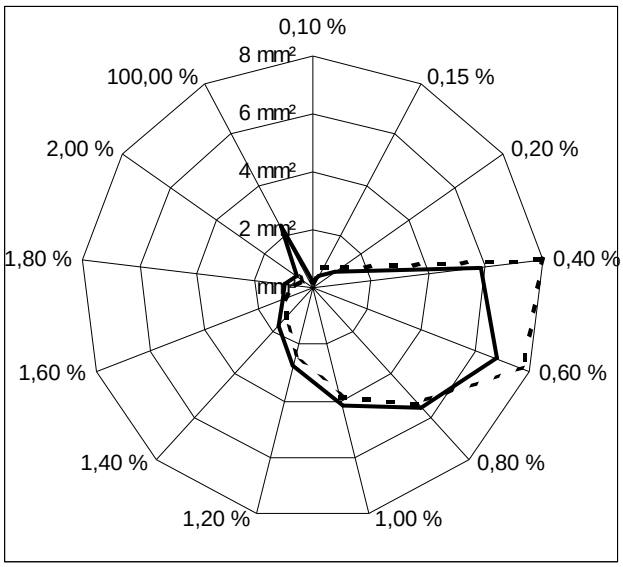


Fig. 2 : Répartition moyenne des faisceaux selon leur taille relative par rapport à l'image (en %). Animaux Salers en trait continu et Holstein en trait pointillé. Surface totale moyenne des images analysées= 34mm²

Si l'on quantifie l'organisation du réseau par la surface occupée par des faisceaux mesurant un pourcentage donné de l'image, on observe des différences entre les deux races, notamment pour les classes de faisceaux 0,4%, 0,6% (qui sont prépondérantes pour les deux races) et >2%. Les faisceaux occupant 0,4 et 0,6% de la surface totale analysée couvrent une aire plus grande chez les animaux Holstein (8mm²) que chez les Salers (6 et 7mm²). Par contre, pour ces derniers, les faisceaux dont la taille dépasse 2% occupent une surface plus étendue (3mm² contre 1mm² pour les Holstein).

Conclusion :

Les muscles *Semimembranosus* des animaux de race Holstein sont plus riches en collagène que ceux issus de la race Salers. Par contre, ils présentent des faisceaux de myofibres plus petits (bien que les tailles moyennes ne soient pas significativement différentes). Cette variation de distribution pourrait expliquer les différences de tendreté (Holstein plus tendres, données non publiées) qui ne peuvent être reliées, ni au degré de maturation de la viande, ni à la teneur et à la solubilité thermique du collagène.

Bibliographie :

BRADY D.E., 1937. A study of the factors influencing tenderness and texture of beef. *Proc. Amer. Soc. Animal Production*, 30, 246-250.

COOPER C.C., BREIDENSTEIN B.B., CASSENS R.G., EVANS G., BRAY R.W., 1968. Influence of marbling and maturity on the palability of beef muscle : histological considerations. *J. Anim. Sci*, 27, 1542-1546.

DUMONT B.L. et SCHMITT O., 1973. Conséquences de l'hypertrophie musculaire héréditaire sur la trame conjonctive du muscle bovin. *Ann Genet Sel Anim*, 5, 499-506.

LIU A., NISHIMURA T., TAKAHASHI K., 1994. Structural changes in endomysium and perimysium during post-mortem aging of chicken semitendinosus muscle - contribution of structural weakening of intramuscular connective tissue to meat tenderization. *Meat Sci.*, 38, 315-328.

NORMAN G.A., 1982. Effects of breed and nutrition on the productive traits of beef cattle in South-East Brazil: part 3-meat quality. *Meat Sci.*, 6, 79-96.

Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier du Commissariat à l'Aménagement et au Développement Economique du Massif Central.

INCIDENCE DE L'AGE A LA CASTRATION DES BOVINS SUR LES PERFORMANCES ET LES CARACTERISTIQUES MUSCULAIRES

M.P. OURY[1], C. BARBOIRON[2], J. LASSALAS[3], R. JAILLER[2], R. DUMONT[1], B. PICARD[2], J. AGABRIEL[2] et D. MICOL[2]

[1] ENESAD Département des Sciences et Techniques Agronomiques, 26, bd Petit Jean, BP 87999, 21079 Dijon cedex

[2] INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, 63122 Saint Genès Champanelle

[3] INRA, Domaine Des Monts Dore, Les Razats, 63820 Laqueuille

Introduction

La production de jeunes bœufs est bien adaptée à la valorisation des surfaces en herbe et permet des schémas de conduite simples et peu exigeants en travail. Mais cette production régresse car la filière lui reproche une trop grande variabilité dans la qualité de la viande produite. L'âge à la castration est un facteur modifiable par l'éleveur qui peut influencer les caractéristiques des muscles. En race Charolaise, elle est effectuée vers 14 mois pour bénéficier le plus possible de la croissance rapide des mâles entiers. Mais dans une optique de production d'animaux de qualité, une castration dès la naissance pourrait être plus favorable car elle pourrait permettre d'améliorer la précocité et donc l'état d'engraissement à l'abattage d'animaux encore jeunes.

Dans cette optique, un programme portant sur la production de jeunes bœufs de 2 ans a été mis en place entre l'Unité de Recherche sur les Herbivores de l'INRA de Theix (les équipes Croissance et Métabolisme du muscle et Système de Production, le domaine des Monts Dore, l'abattoir expérimental) et l'Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon, afin de préciser si une castration très précoce de bovins, associée à une croissance lente et continue, modifie les caractéristiques musculaires et apparaît ainsi comme un facteur de maîtrise de la qualité de la viande.

Matériel et méthodes

Deux lots de bovins mâles de race Charolaise ont été constitués à la naissance : un lot de 9 animaux, castrés précocement à 3 mois avec un élastique (lot P), et un lot de 10 animaux, castrés plus tardivement à 9 mois avec une pince (lot T). Ces deux lots, conduits au Domaine Expérimental des Monts Dore, ont été alimentés à l'herbe durant l'été, avec du foin l'hiver et ont été complémentés en orge uniquement en finition (à raison de 2 kg/jour). Au total, au cours de leur vie les animaux ont donc reçu 120 kg de concentré. Ils ont été pesés tous les 15 jours de la naissance (en janvier 2000) jusqu'à l'abattage (printemps 2002). Les quantités ingérées et refusées ont été évaluées 5 jours par semaine. L'abattage a été effectué pour les deux lots au même âge moyen (26 mois +/- 25 jours), même poids vif (706 kg +/- 33) et même note d'état d'engraissement (3,0 +/- 0,2) à l'abattoir expérimental de l'INRA de Theix. Deux muscles, de sensibilité différente aux androgènes, ont été prélevés dans l'heure suivant l'abattage pour analyses : le *Rectus Abdominis* (RA*)* ou bavette de flanchet et le *Triceps Brachii* (TB*)* ou boule de macreuse.

Les analyses comparatives ont été effectuées à trois niveaux:

- Données zootechniques **:** étude de l'évolution du poids en fonction du temps (par régression des courbes de poids expérimentales), des vitesses de croissance, des efficacités alimentaires et des notes d'état d'engraissement

- Résultats d'abattage **:** étude des poids de carcasse, des poids vifs vides, de la composition de la carcasse (par découpe et dissection de la 6ème côte), de la couleur de la viande et des gras

- Caractéristiques musculaires **:** étude des tailles de fibres (coloration à l'azorubine), de leur type métabolique et contractile par différentes méthodes (révélation des activités ATPase et succinate déshydrogénase, immunohistochimie), identification des isoformes de myosine par électrophorèse et du type métabolique des muscles (dosage enzymatique de la lactate déshydrogénase (glycolytique), de la cytochrome C oxydase et de l'isocitrate déshydrogénase (oxydatif)).

Résultats et discussion

Données zootechniques

L'évolution des poids moyens des animaux, des efficacités alimentaires et des notes d'état d'engraissement, ne permet pas de mettre en évidence d'effet significatif de l'âge à la castration sur ces résultats zootechniques. Cependant, le lot P a tendance à avoir un gain de poids vif sous la mère (avant 9 mois) inférieur au lot T puis supérieur en finition. Par conséquent, on peut supposer qu'un effet minime a été induit par la castration tardive, et a conduit à cette légère différence de poids. Ceci est confirmé par l'évolution de l'écart de poids entre les lots P et T, qui depuis la castration du lot T et jusqu'à l'abattage est en faveur du lot P.

Résultats d'abattage

Le poids de carcasse du lot P est significativement plus élevé que celui du lot T. Les autres résultats obtenus à l'abattoir ne soulignent aucune différence significative entre les lots P et T (tableau 1). Il n'y a donc qu'un faible effet de l'âge à la castration sur les caractéristiques d'abattage.

Tableau 1 : Caractéristiques des carcasses des deux lots d'animaux

	Poids vif vide (kg)	Poids de carcasse (Pcc)	% de gras dans le Pcc	% de muscle dans le Pcc	% d'os dans le Pcc	Luminosité du muscle LD	Luminosité du gras interne
Lot P	612	405	19,0	65,9	15,1	42,8	83,63
Lot T	596	389	18,9	65,9	15,2	43,4	83,17
Test	NS	Tdce (P=0,06)	NS	NS	NS	NS	NS

Caractéristiques musculaires

La taille des fibres rapides du muscle RA est sensiblement supérieure dans le lot T, la différence n'étant significative que pour les fibres FOG (3802µm² *vs* 2983µm², P = 0,014). Ceci est en accord avec les données bibliographiques selon lesquelles les hormones mâles tendent à augmenter la taille des fibres. Cependant, aucune différence significative n'a été observée dans le muscle TB. L'étude du type métabolique des fibres du muscle RA n'a révélé aucune différence significative entre lots. Le lot T a, par contre, dans le muscle TB une proportion significativement supérieure de fibres FOG par rapport au lot P. Cette observation est en accord avec de nombreuses publications indiquant que les androgènes limitent la conversion des fibres FOG en FG, ce qui contribue à l'augmentation de la proportion des fibres FOG (Geay et Renand, 1994). Certaines caractéristiques des mâles entiers ont vraisemblablement été conservées par le lot T dans le muscle TB, muscle à forte concentration en récepteurs aux androgènes (Rolhion, 1994). L'âge à la castration n'a aucun effet sur le type contractile des fibres, étudié par immunohistochimie et électrophorèse. Ceci confirme les conclusions de Picard *et al* (1995) qui notent qu'aucun effet de la castration n'est visible avant la puberté, ce qui justifie l'absence de différence entre deux lots castrés avant la puberté. Aucune différence significative n'est visible entre les activités enzymatiques des lots P et T, laissant supposer que l'âge à la castration n'a aucun effet sur celles-ci.

Par contre, des différences significatives apparaissent entre les muscles RA et TB, avec une activité à la fois oxydative et glycolytique supérieure pour le TB. Le RA a des fibres sensiblement plus grosses (3316 µm² *vs* 2145µm²) que le TB. De plus, dans le TB nous observons, conformément à la bibliographie, des tailles croissantes pour les fibres SO, FG et FOG, et un ordre inversé dans le cas du RA. Le RA a enfin une activité SDH très faible, ce qui conduit à des colorations très peu nuancées entre les fibres FOG et les FG. Ce résultat peut être dû à la présence de fibres FOG non oxydatives en grande quantité, à la présence de mitochondries en quantité plus faible, ou enfin à une activité enzymatique plus faible dans le RA. Or l'étude enzymatique précédemment réalisée confirme l'hypothèse que le muscle RA aurait effectivement une activité enzymatique plus faible que le muscle TB, probablement du fait de sa position anatomique.

Conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de conclure que l'âge à la castration, entre 3 et 9 mois, n'a pas d'effet très marqué, ni sur les caractéristiques zootechniques de bouvillons Charolais ni sur les caractéristiques musculaires impliquées dans la tendreté, et ce, quels que soient le muscle étudié et sa sensibilité aux androgènes. Ces observations sont probablement à relier au fait que le système hormone-récepteur n'est fonctionnel qu'à partir de la puberté, comme le suggèrent les résultats de Picard *et al.* (1995) et Brandstetter *et al.* (1998).

En conséquence de ce travail, la castration précoce (à l'âge de 3 mois) serait une possibilité avantageuse pour l'obtention de bœufs rajeunis produits à l'herbe. En effet, elle est d'une part plus aisée puisque réalisée avec un élastique sur des animaux plus jeunes et d'autre part plus conforme au bien-être animal qu'une castration tardive (à l'âge de 9 mois) car moins traumatisante dans le tout jeune âge. Cependant, cette solution doit être validée par des analyses de dégustation, en cours de réalisation, afin de vérifier si un effet de l'âge à la castration est perceptible sur les qualités sensorielles de la viande.

Références bibliographiques

Brandstetter A., Picard B., Geay Y., 1998. Livestock Production Science, 53, 25-36.
Geay Y., Renand G., 1994. Rencontres Recherches Ruminants, n°1, 177-182.
Picard B., , Robelin J., Geay Y., 1995. Ann. Zootech., 44, 347-357.
Rolhion C., 1994. Rapport de DEA, Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand) / INRA de Theix, 26p.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Conseil Régional de Bourgogne et de l'INRA. Les auteurs remercient le personnel du Domaine des Monts Dore et de l'abattoir expérimental de Theix qui ont assuré l'élevage et l'abattage des animaux.

QUANTIFICATION DES PROTEASES MUSCULAIRES PAR IMMUNOCHIMIE

SENTANDREU[#] M. A., CHANTREAU[#] O., AUBRY[#] L., LEVIEUX* D. et OUALI[#] A.

[#] BPM, *Immunochimie, SRV, INRA-Theix, 63122 Saint Genès Champanelle, France.

Introduction

La variabilité de la qualité de la viande, en terme d'hygiène, de tendreté, de flaveur, de jutosité et de couleur, reste le problème majeur auquel sont confrontés les industriels de la filière. Parmi ces qualités, la tendreté demeure le facteur limitant principal de l'acceptabilité de la viande par le consommateur. L'une des raisons majeures de ces problèmes est très probablement la complexité du muscle squelettique. La tendreté résulte de l'altération de la structure contractile par les enzymes protéolytiques endogènes. La quantification de ces enzymes et des facteurs protéiques (inhibiteurs) contrôlant leurs activités est un moyen de prédire et d'expliquer cette variabilité biologique. Jusque là, la quantification des enzymes et de leurs inhibiteurs a été réalisée par mesure de leur activité biologique après fractionnement partiel ou, plus rarement, dans des extraits bruts de muscle. Cependant, ces techniques sont souvent compliquées, imprécises et nécessitent le plus fréquemment un fractionnement préalable de l'extrait musculaire excluant ainsi tout système protéolytique dont le fractionnement est trop complexe. A ces inconvénients, il faut en ajouter un autre d'importance qui concerne le nombre limité d'échantillons (3 à 4 au maximum) qu'il est possible d'analyser en parallèle par ces techniques. Il paraît donc essentiel d'envisager de nouvelles techniques plus spécifiques, plus rapides, plus précises, adaptées à l'analyse d'un grand nombre d'échantillons et n'excluant aucun système protéolytique. Pour atteindre cet objectif, nous avons choisi de faire appel aux outils immunochimiques déjà très utilisés dans le domaine de l'analyse médicale, et qui répondent en tout point à nos exigences. Nous nous proposons de faire ici, à l'aide d'exemples pratiques, une présentation succincte des principales techniques immunochimiques adaptées à notre problème.

Techniques immunochimiques

Deux types de techniques parmi les plus courantes seront présentées. Il s'agit de l'immunodiffusion radiale (Mancini) et de l'ELISA (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay)

- ***Immunodiffusion radiale.*** Cette technique repose sur la capacité de l'anticorps à former un complexe insoluble avec l'antigène cible. L'anticorps dirigé contre la protéine native est incorporé dans de la gélose. La gélose est coulée dans une boîte plastique ronde ou rectangulaire et maintenue à température ambiante jusqu'à solidification de gel. Des trous destinés à recevoir l'extrait tissulaire contenant l'antigène (3 à 15 µl) sont percés à l'emporte-pièce. La migration de l'antigène dans la gélose avant précipitation par l'anticorps va être proportionnelle à la concentration de ce dernier. Le diamètre du cercle de précipitation permettra, par référence à une gamme étalon, de déterminer la concentration de l'antigène dans l'extrait. Cette technique est peu coûteuse, facile à mettre en œuvre et permet l'analyse d'un grand nombre d'échantillon. Du fait de sa sensibilité moyenne, cette technique n'est adaptée qu'à des concentrations d'antigène supérieures ou égales à environ 10 µg par millilitre d'extraits tissulaires.

- ***ELISA***

Deux types de technique ELISA sont communément utilisés pour la quantification d'antigène en milieux complexes. Il s'agit de l'ELISA direct et de l'ELISA sandwich, les deux étant réalisées sur support solide (plaques de microtitration). Elles sont généralement très sensibles et adaptées à la quantification d'antigène dont la concentration est de l'ordre du ng/ml voire moins. Notons que le succès de ces techniques est principalement fonction de la qualité des anticorps dirigés contre l'antigène à quantifier.

- *ELISA direct :* L'extrait brut de tissu dilué est adsorbé dans les puits de la plaque de microtitration. Après lavage, l'anticorps (Anti-Ag) (polyclonal ou monoclonal) spécifique de l'antigène (Ag) recherché est ajouté à l'extrait. L'anticorps couplé à son antigène est ensuite révélé grâce à un anticorps (Anti-IgG) dirigé contre les immunoglobulines de l'espèce animale qui à servi à produire notre anticorps spécifique Anti-Ag. L'anti-IgG généralement marqué de façon covalente par une enzyme (peroxydase ou phosphatase) va donner, en présence de substrat spécifique de l'enzyme, une coloration directement proportionnelle à la quantité d'Anti-Ag fixée et donc à la quantité d'antigène présente.

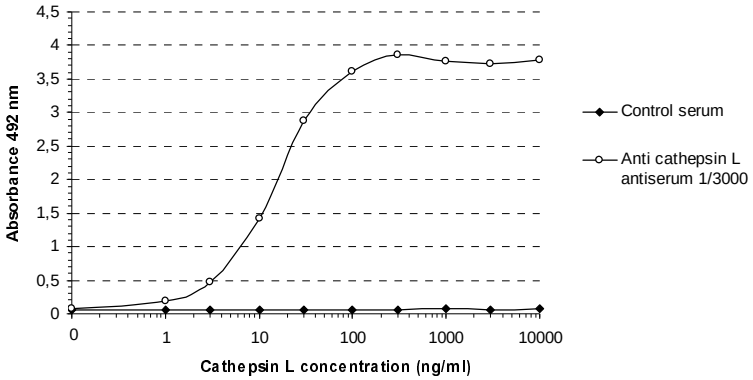
- *ELISA Sandwich:* Dans ce cas, un premier anticorps (anticorps de capture: monoclonal, anti-peptide, polyclonal) hautement spécifique de l'antigène d'intérêt est adsorbé dans le puits. L'extrait tissulaire est ensuite ajouté et l'antigène contenu dans l'extrait sera capturé par l'anticorps. Un second anticorps dirigé contre l'antigène sera ajouté et celui-ci sera révélé comme précédemment avec un Anti-IgG marqué. Cette technique, plus spécifique que la précédente, nécessite une grande rigueur et une formation préalable adaptée.

Quelques exemples d'application de ces techniques à la quantification de peptidases

A) Quantification de la cathepsine L par ELISA direct

Parmi les peptidases lysosomiales, la cathepsine L est celle qui a la plus grande capacité hydrolytique vis-à-vis des protéines cibles. Pour cette raison, on lui attribue souvent un rôle très important dans le processus d'attendrissage des viandes. Par voie de conséquence, il paraît donc essentiel de pouvoir la quantifier dans le tissu musculaire. Pour cela, un anticorps polyclonal dirigé contre une séquence peptidique propre à cette protéine a été développé et utilisé dans un premier temps en ELISA direct pour la quantification de la cathepsine L. La figure 1 est la courbe standard obtenu en déposant des concentrations croissantes (0 à 10 µg/ml) de cathepsine L dans les puits de la microplaque de titration et en révélant cette cathepsine L avec l'antipeptide mentionné ci-dessus après marquage de ce dernier à la peroxydase. Selon cette courbe, il apparaît que des quantités de cathepsine L de l'ordre du nanogramme peuvent être détectées par ce test. Ce test préliminaire devrait évoluer vers un test ELISA sandwich, généralement plus spécifique, dans lequel le présent anticorps servira d'anticorps de capture, la révélation étant ensuite faite avec un anticorps polyclonal dirigé contre la protéine native et marqué de façon covalente à l'aide de péroxydase.

Figure 1: Capacités de l'antipeptide, dilué au 1/3000, à reconnaître la cathepsine L déposée dans les puits de la plaque de microtitration. en comparaison avec un sérum de lapin non immunisé utilisé comme contrôle. La concentration de cathepsine L est portée sur une échelle logarithmique.



B) Quantification du protéasome 20S par immunodiffusion radiale

Le proteasome 20S est un complexe protéolytique de 700 kDa présent dans de nombreux tissus à des concentrations relativement élevées pouvant atteindre 1 mg/g de tissus. Dans le muscle, sa concentration varie entre 200 et 350 µg/g de muscle frais [Dutaud, D., 1998]. Compte tenu de la concentration élevé de ce complexe et de son rôle dans le processus d'attendrissage de certains types de viande (viandes à pH élevé et viande provenant de muscle très oxydatifs [Dutaud, 1998; Ouali, 1999]), il a été décidé de mettre en place différents tests de quantification de type immunochimique. Le premier a été un test de dosage par immunodiffusion radiale qui est décrit ici. Celui-ci a été suivi du développement de deux tests ELISA sandwich plus sensibles destinés à la quantification de ce complexe dans le sérum humain [Dutaud et al., 2002] et dans le muscle de bovin.

Quantification du protéasome 20S par immunodiffusion radiale: l'anticorps polyclonal dirigé contre le complexe natif purifié est inclus dans la gélose (20-30 µl sérum/5ml de gélose). Dans les trous sont déposées différentes concentrations de protéasome purifié (6.25 à 200 µg/ml) et des d'extraits bruts des muscles *Longissimus Dorsi* et *Supraspinatus* de bovin (3µl) (Fig. 2A). A partir de la gamme étalon (Fig. 2B), on en déduit la concentration de protéasome dans chaque extrait de muscle qui est de 250 µg/g pour le muscle *Longissimus Dorsi* et de 200 µg/g pour le muscle *Supraspinatus.*

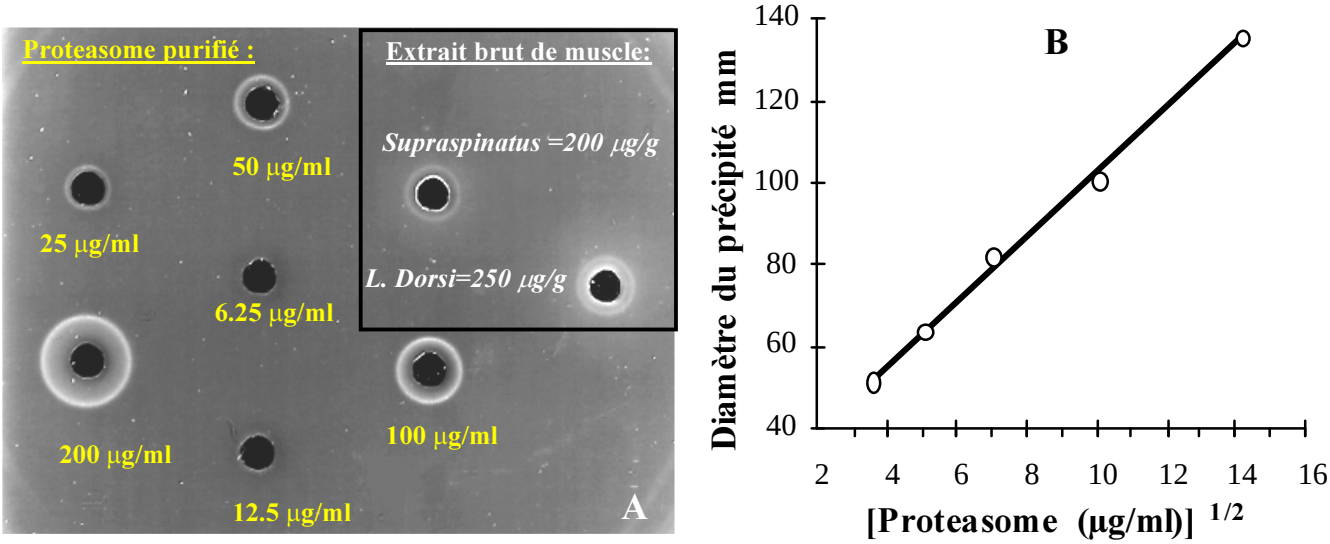


Figure 2: Immunodiffusion radiale conduisant à des cercles de précipitation du complexe antigène/anticorps dont le diamètre augmente avec la concentration de l'antigène. Sur la plaque de gélose (A) différentes concentrations d'antigène pur (protéasome) et deux extraits bruts de muscle de concentration inconnue sont déposées. Leur concentration est déduite de la courbe étalon (B) obtenue en portant le diamètre des cercles de précipitation en fonction de la racine carré de la concentration en protéasome.

Conclusion

Les exemples présentés ici permettent de mettre en évidence la simplicité d'utilisation de ces techniques et leur utilité potentielle pour la quantification de marqueurs biologiques de qualité dans le cadre de la viande. Quelle que soit la technique, il faut garder à l'esprit que le point crucial est toujours la qualité des anticorps utilisés.

Références

Barrett, A. J., Kirsche, H. (1981). Cathepsin B, Cathepsin H and Cathepsin L. *Methods Enzymol*. Vol. 80,535-561.

Dutaud, D. (1998). Quantification et caractérisation du protéasome 20S de muscle de bovin en relation avec l'attendrissage de la viande bovine. Ph D thesis, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand, France.

Dutaud, D., Aubry, L., Henry, L., Levieux , D., Hendil , K.B., Kuehn, L., Bureau , J.P., Ouali, A. (2002) Development and evaluation of a sandwich ELISA for quantification of the 20S proteasome in human plasma, *J. Immunol. Methods*. 260, 183-193.

Ouali A. (1999). Structure and biochemistry of muscle as related to meat texture. Proc. XIV European Symposium on the Quality of Poultry Meat (Bologna, Italy). Vol. 1, 91-121.

ANALYSE PROTEOMIQUE DU MUSCLE DESTRUCTURE DE PORC

T. SAYD, ELISABETH LAVILLE, VERONIQUE SANTE, G. MONIN
Station de Recherches sur la Viande, INRA, 63122 Saint-Genès Champanelle.

Introduction

La viande de porc déstructurée, souvent localisée dans les régions profondes des muscles du jambon, présente certaines caractéristiques comparables à celles de la viande « PSE » : exsudation, décoloration, fragmentation myofibrillaire importante, et augmentation de l'espace intercellulaire. Il est établi que certains facteurs génétiques (gène de sensibilité à l'halothane) ou environnementaux (stress divers avant et pendant l'abattage) favorisent le développement du défaut (Franck et al., 2000, 2002), mais les mécanismes physiologiques et biochimiques sous-jacents ne sont pas déterminés.

La méthode de séparation des protéines musculaires selon deux dimensions (le point isoélectrique et le poids moléculaire) permet d'étudier simultanément les variations qualitatives et quantitatives d'un grand nombre de protéines. Nous envisageons d'identifier les changements moléculaires induits par la déstructuration du tissu musculaire en comparant les profils électrophorétiques des zones saines et des zones lésées d'un même muscle. Le travail présenté ici est une étude préliminaire dont un des objectifs est d'apprécier l'intérêt de l'électrophorèse bidimensionnelle pour l'étude des viandes déstructurées.

Méthodes

Des échantillons de muscles ont été prélevés dans des jambons expérimentaux (voir la communication de Laville et al.) à 24h post mortem, dans une zone saine et dans une zone déstructurée du muscle *Semimembranosus*. Des coupes histologiques colorées à l'hématoxyline-éosine-safran, la mesures de la solubilité des protéines selon la méthode décrite par Joo et al. (1999) et l'électrophorèse bidimensionnelle des protéines musculaires ont été réalisées. L'isoélectrofocalisation a été conduite sur un gradient de pH 3-10 non linéaire (Bio-Rad, 17cm), la seconde dimension a été réalisée sur des gels SDS-PAGE (acrylamide 11%).

Résultats

Les coupes histologiques montrent des caractéristiques de déstructuration comparables à celles décrites dans la littérature (Franck et al., 1999 ; Minvielle et al., 2001 ; voir aussi la communication de Labas et al.). Elles permettent de contrôler l'état de déstructuration de nos échantillons (Figure 1). Dans les zones lésées, la solubilité des protéines est diminuée (figure 2), ce qui confirme la ressemblance avec les viandes PSE. La figure 3 montre les profils électrophorétiques d'une zone saine et d'une zone lésée d'un même jambon. On observe un grand nombre de spots répartis sur l'ensemble du gradient de pH de 3 à 10 et dans une gamme de poids moléculaires compris entre 5 et 200 kDa. Un certain nombre de spots protéiques montrent des différences importantes de densité de coloration (figure 2, zones encerclées). Il est difficile d'attribuer une cause à ces différences. En effet, elles pourraient être présentes dans le tissu musculaire dès avant l'abattage. Cependant, la différence de solubilité des protéines entre les échantillons sains et lésés indique une dénaturation plus ou moins prononcée de certaines protéines chez ces derniers, probablement survenue post mortem, comme c'est le cas dans les viandes PSE. Les protéines dénaturées sont moins extractibles, ce qui influence les profils protéiques. Enfin, à 24 h post mortem, la protéolyse devrait avoir commencé, au moins dans la viande saine ; il est possible que la protéolyse soit moins avancée dans les viandes déstructurées, comme c'est le cas dans les viandes PSE. Dénaturation et protéolyse sont susceptibles de modifier profondément les profils protéiques. Des études plus détaillées, en particulier sur des échantillons prélevés immédiatement après l'abattage, seront donc nécessaires pour élucider les causes des différences apparentes de composition protéique entre viande saine et déstructurée.

Conclusions et perspectives

Ces observations doivent être considérées comme préliminaires et devront être confirmées sur un plus grand nombre d'échantillons. L'étape suivante consistera en l'identification par spectrométrie de masse des protéines ou des fragments protéiques différant entre viande saine et déstructurée. A terme, cette approche devrait apporter des informations sur les mécanismes d'apparition du défaut, et nous permettre d'identifier des marqueurs moléculaires pour la détection de ce dernier.

Références bibliographiques

Franck M., Bénard G., Fernandez X., Barbry S., Durand P., Lagant H., Monin G., Legault C., 1999. J. Rech. Porcine en France, 31, 331-338.

Franck M., Monin G., Legault, C., 2000. J. Rech. Porcine en France, 32, 345-350.

Franck M., Svensson G., Von Seth G., Josell A., Figwer P., Poirel M.T., Monin G., 2002. Meat Sci., sous presse.

Joo S., Kauffman R., Kim B., Park G 1999. Meat Science, 52, 291-297.

Minvielle B., Le Strat P., Le Bret B., Houix Y., Boulard J., Clochefert N., 2001. Journées Rech. Porcine France, 33, 95-11.

Figure 1 – Coupe histologique longitudinale du muscle *semimembranosus* 24 heures post mortem

Zone lésée Zone indemne

Figure 2 – Solubilité des protéines

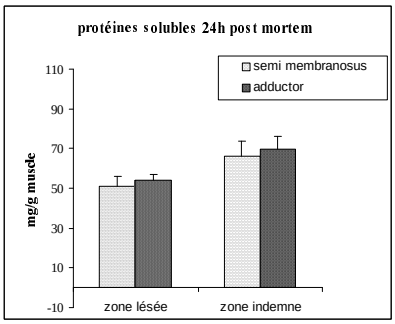
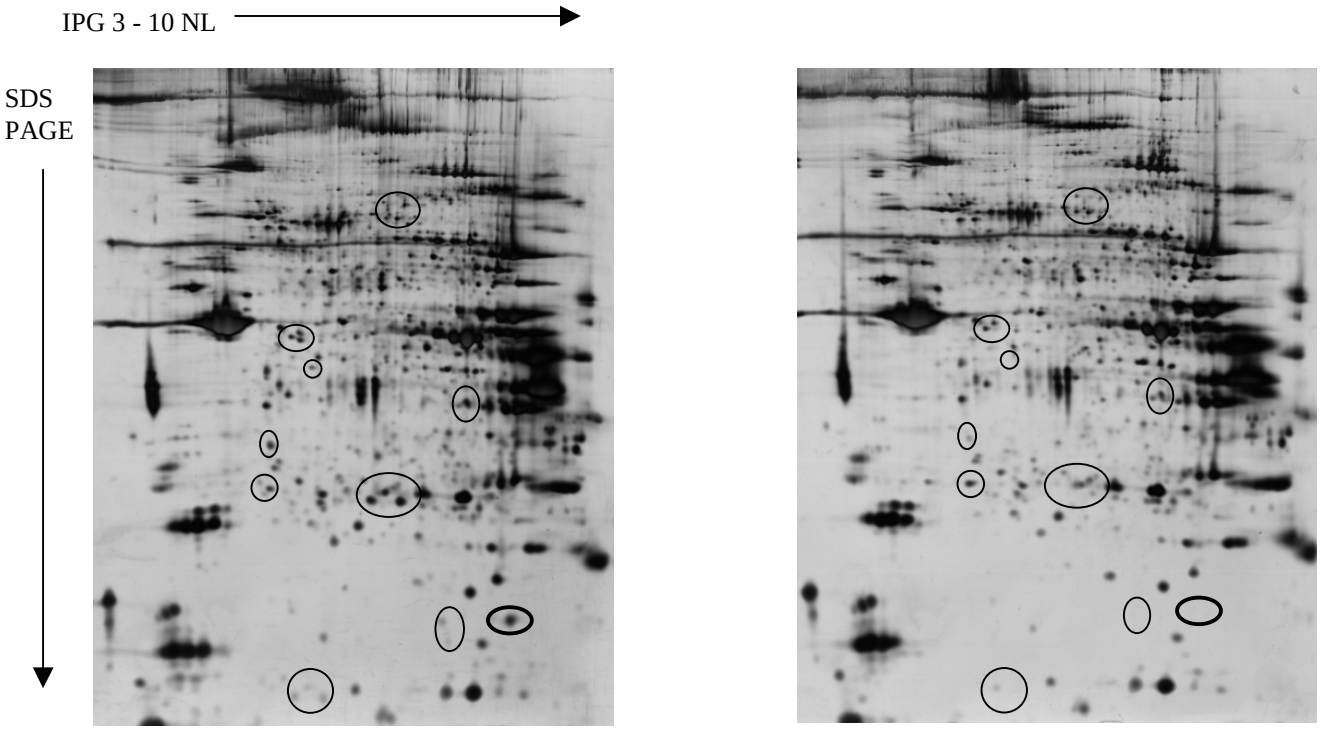


Figure 3 – Gels d'électrophorèse 2D de muscle *semimembranosus* à 24 heures post mortem



Zone lésée Zone indemne

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme AQS 00 P0577 du Ministère de la Recherche "Approches explicatives, diagnostique et préventive des viandes déstructurées dans la filière porcine" en collaboration avec l'ITP, le CTSCCV et l'ENV-Lyon (responsable scientifique Gabriel Monin, INRA).

QUALITES DES VIANDES DES PORCS : ROLE DE LA REACTIVITE A L'HOMME ET DES INTERACTIONS AGRESSIVES ENTRE ANIMAUX

C. TERLOUW[1], J. PORCHER[2], X. FERNANDEZ[1]
[1] Station de Recherches sur la Viande, INRA de Theix, 63122 St Genès-Champanelle
[2] Bergerie Nationale, 78120 Rambouillet

Introduction

Les qualités technologiques des viandes de porc varient en fonction des élevages et des conditions d'abattage. L'objectif de ces travaux était d'établir le rôle de la réactivité à l'Homme et du nombre d'actes agressifs reçus et initiés dans cette variabilité. Nous avons fait varier le rôle de l'Homme pendant l'élevage et pendant l'abattage et nous avons déterminé le comportement agressif avant l'abattage et certains indicateurs des qualités des viandes.

Matériel et méthodes

Elevage et traitements. Quarante-deux porcs mâles castrés de race Large White ont été élevés par groupes de 7 dans des cases (4,5 x 1,5 m). Trois traitements, comprenant chacun les porcs de deux cases, étaient appliqués dès l'âge de 3,5 mois, jusqu'à l'abattage : *Témoins, Interaction avec l'Homme et Présence de l'Homme*. Les *témoins* n'étaient pas retirés de leur case. Pour les deux autres traitements, cinq fois par semaine, chaque porc était quotidiennement isolé de son groupe et introduit dans une case dans une autre salle où il restait pendant 3 min en présence de l'expérimentateur :

- pour *Interaction avec l'Homme*, l'expérimentateur essayait graduellement d'interagir avec les porcs (successivement, usage de la voix, contact physique, et enfin jeu d'interaction entre la main et le museau du porc).
- pour *Présence de l'Homme*, l'expérimentateur s'accroupissait dans un coin de la case en baissant les yeux. Chaque fois que le porc le touchait, il était systématiquement repoussé.

Tests d'exposition à l'Homme. Environ 40 jours après le début des traitements, chaque porc a été testé avec 3 personnes différentes, selon un plan équilibré : l'expérimentateur (très familier pour 4 des 6 cases), un co-expérimentateur (ayant eu des contacts moins fréquents avec les porcs), une personne non familière aux porcs. Le test suivait exactement la même procédure que le traitement *Présence de l'Homme.*

Abattage. La veille des abattages, des groupes d'abattage de 7 porcs (110 kg) étaient formés en prenant un ou deux porcs par case et en les introduisant dans une case commune dans une autre pièce ("mélange"). Après une heure, le groupe était transporté jusqu'à l'abattoir local, pour être abattu le lendemain matin. Trois ou 4 porcs de chaque case d'élevage étaient accompagnés par l'expérimentateur, pendant le mélange, le transport et le transfert de la case d'attente jusqu'au restrainer. Les autres porcs n'étaient pas accompagnés.

Mesures et analyses. Le comportement était enregistré par vidéo. Une demi-heure avant l'abattage, un échantillon de *Longissimus lumborum* (LL) a été prélevé par biopsie (glycogène). A 1 et 45 min et à 24 h *post-mortem*, la température, le pH et la couleur ont été déterminés, sur le LL, le *Biceps femoris* (BF), le *Semimembranosus (*SM*)* et l'*Adductor femoris* (AF). La perte d'eau du LL a été mesurée, entre J1 et J2 et entre J1 et J3 *post-mortem*. Les données ont été exploitées par analyse de covariance et par régression.

Résultats

Traitements. Les porcs du traitement *Interaction* acceptaient progressivement d'être caressés ($p<0,05$). La durée de jeu était significativement plus élevée le jour 39 (Fig. 1, $p<0,01$). Les porcs du traitement *Présence* initiaient le contact physique aussi souvent que ceux du traitement *Interaction* ($p>0,10$), ils étaient plus souvent inactifs, reniflaient plus souvent le mur et se frottaient plus souvent contre le mur ($p<0,05$).

Exposition à l'Homme. Les porcs du traitement *Interaction* ont touché les personnes plus souvent que ceux des deux autres groupes ($p<0,01$). Les porcs des deux traitements ont passé plus de temps à proximité des personnes que les témoins ($p<0,01$). La familiarité ou non des personnes n'a pas influencé ces comportements.

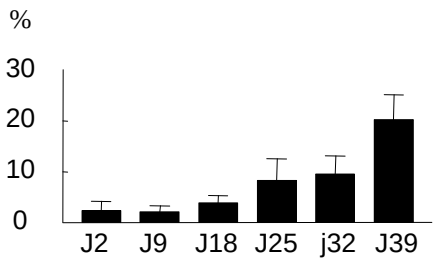


Fig. 1. Pourcentage de temps passé au jeu, les différents jours du traitement *Interaction avec l'Homme*

Mélange. Pendant le mélange, les porcs étaient plus souvent couchés en présence de l'expérimentateur qu'en son absence (48,6 ± 3,6 et 34,7 ± 4,1 % du temps). Toutefois, le nombre total d'interactions agressives était similaire (présence : 10,1 ± 2,1 ; absence : 12,4 ± 2,1; $p>0,10$).

Qualités des viandes. Les porcs du traitement *Interaction* qui étaient accompagnés à l'abattage, avaient des taux de glycogène dans le LL et des indices du rouge et du jaune du BF plus élevés que ceux du même groupe qui n'étaient pas accompagnés (effet interactif du traitement en élevage et de l'accompagnement à l'abattage : p<0,05; Fig. 2).

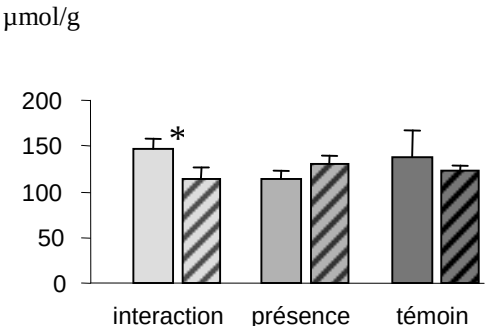


Fig. 2. Teneurs en glycogène du LL pour les traitements et témoins. Les barres striées représentent les porcs non accompagnés

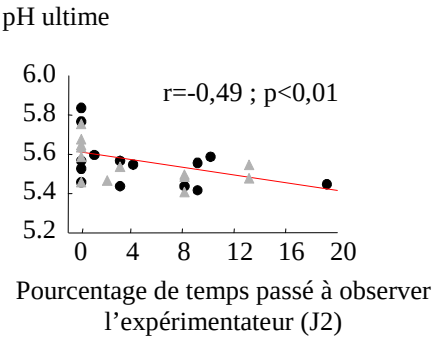


Fig. 3. Corrélation entre le pH ultime du LL et le temps passé à observer l'expérimentateur, J2 du traitement

Le nombre d'interactions agressives pendant le mélange était corrélé avec plusieurs indicateurs de qualité de viande (Tableau 1).

Tableau 1. Corrélations de Pearson entre le nombre d'actes agressifs pendant le mélange avant l'abattage et des indicateurs de qualité de viande. Les corrélations sont présentées si les corrélations de Spearman sont également significatives.

Indicateurs des qualités des viandes	Nombre d'actes agressifs initiés	Nombre total d'actes agressifs (initiés + reçus)	Proportion d'actes agressifs initiés (initiés/total)
Longissimus Lumborum			
Glycogène	-0.37 *	-0.35 *	
Température (1 min)	-0.28 +	-0.30 +	-0.31 *
pH (45 min)	0.50 ***	0.43 **	0.52 ***
pH (24 h)	0.33 *		0.37 *
L*	-0.37 *		-0.29 +
b*			-0.37 *
perte d'eau moyenne	-0.44 **	-0.36 *	-0.48 **
Biceps femoris			
Température (1 min)	-0.37 *		-0.37 *
pH (24 h)	0.50 ***	0.45 **	0.32 *
L*	-0.36 *	-0.34 *	-0.41 **
Adductor femoris			
pH (24 h)	0.38 *	0.28 +	0.35 *
Semimembranosus			
pH (24 h)	0.47 **	0.39 *	0.39 *
L*	-0.57 ***	-0.51 ***	-0.57 ***

+: p<0.10; *: p<0.05; **: p<0.01; ***: p<0.001

La fréquence et la durée d'observation de l'expérimentateur par les porcs, le deuxième jour des traitements en élevage (les 2 groupes confondus) étaient corrélées négativement avec les pH ultimes et avec les indices de couleur des quatre muscles (p<0,05; Fig. 3). Des modèles de régression montrent des influences significatives simultanées du nombre d'actes agressifs pendant le mélange et de la durée d'observation de l'expérimentateur le jour 2, expliquant 37, 29, 32, et 28 % de la variance des pH ultimes des muscles LL, BF, SM et AF, respectivement.

Conclusions

Chez le porc, être habitué à interagir avec une personne ou à sa présence sans interagir, influence sa réactivité envers cette personne et envers d'autres personnes, en termes d'approche et de contact physique. Pour les porcs habitués à l'interaction avec une personne, la présence de celle-ci lors de l'abattage diminue la mobilisation des réserves glycolytiques (LL) et influence la couleur (BF), probablement parce qu'ils sont plus calmes (physiquement et/ou émotionnellement). Toutefois, les pH ultimes des muscles sont influencés par le nombre d'actes agressifs initiés avant l'abattage et par la réactivité à l'Homme au début du traitement en élevage, expliquant environ 30 % de la variance.

En résumé, la variabilité des pH ultimes était principalement influencée par les actes agressifs et par la réactivité à l'Homme tant qu'il n'y pas d'accoutumance. L'accoutumance au jeu avec l'expérimentateur, associée à la présence de celui-ci lors de l'abattage, n'a qu'un effet limité sur ces qualités des viandes.

REGULATION DU GENE DE LA SOUS-UNITE CATALYTIQUE DE LA M-CALPAÏNE (*CAPN2*) PAR LES FACTEURS DE TRANSCRIPTION SPECIFIQUES DU MUSCLE AU COURS DE LA MYOGENESE.

S. DEDIEU, G. MAZERES, P. COTTIN, J-J. BRUSTIS.

Laboratoire Biosciences de l'Aliment, ISTAB-USC-INRA 429, Université Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France

Les calpaïnes constituent une famille de cystéines protéases calcium-dépendantes ubiquitaires et tissus spécifiques. Les isoformes ubiquitaires (µ- et m-calpaïne) sont des protéines hétérodimériques composées de sous-unités catalytiques distinctes (respectivement CAPN1 et 2, de masse moléculaire 80kDa) et d'une sous-unité régulatrice commune (CAPN4, de masse moléculaire 28kDa), codées respectivement par les gènes *capn1*, *capn2* et *capn4*. L'activité des calpaïnes est régulée par différents facteurs, incluant le calcium, les phospholipides et la calpastatine, un inhibiteur protéique spécifique.

Plusieurs études réalisées au laboratoire ont montré que les calpaïnes sont impliquées, d'une part, *ante-mortem*, dans la croissance et le développement du muscle, d'autre part, *port-mortem*, dans la tendreté de la viande. Dans le but de comprendre le rôle exact de la m-calpaïne pendant la myogenèse et par conséquent durant la croissance et le développement musculaire, nous avons analysé une possible régulation de cette protéase par les facteurs de régulation myogéniques.

La myogenèse est régulée par les membres de la famille des facteurs de régulation myogénique (MRF). Les quatre facteurs de transcription spécifiques du muscle MyoD, myogénine, Myf5 et MRF4, peuvent agir à différentes étapes du processus de différenciation en contrôlant l'expression de gènes spécifiques du muscle. Ces facteurs de transcription se lient à des séquences consensus conservées, les *E-box* (CANNTG), présentes dans les régions promotrices de nombreux gènes musculaires. Il a été montré que les MRF formaient des complexes avec d'autres protéines de type *Helix-Loop-Helix* comme MEF-2 ou p300. La surexpression de chacun des MRF convertit des cellules non musculaires en cellules myogéniques capables de fusionner et d'exprimer des gènes spécifiques du muscle. Bien que ces facteurs possèdent des fonctions redondantes durant la différenciation, de récents travaux ont mis en évidence que chacun d'entre eux occupait des fonctions uniques et non lors de la myogenèse. MyoD et Myf5 sont actifs dès la détermination des myoblastes et participe à la régulation du cycle cellulaire, tandis que myogénine contribue à la formation des myotubes; MRF4 semble intervenir plus tardivement, principalement durant la myofibrillogenèse.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, des nombreuses études faites au laboratoire ont souligné le rôle clef de la m-calpaïne au cours de la myogenèse, notamment lors de la fusion des myoblastes, principalement par son implication lors du clivage de protéines du cytosquelette, incluant la desmine, la filamine, la tropomyosine, la troponine, la taline, la nébuline, la vimentine, la gelsoline et la vinculine. Alors que la régulation de la m-calpaïne par son interaction avec la calpastatine ou par les flux de calcium aient été bien étudiés, rien n'est connu concernant la régulation du gène de la protéase au cours de la myogenèse. L'expression de la m-calpaïne, comme pour de nombreuses protéines spécifiques du muscle, est modulée par des facteurs capables de stimuler ou d'inhiber la myogenèse. Pour ces raisons, nous avons émis l'hypothèse que *capn2* serait régulé transcriptionnellement par les facteurs de régulation myogénique lors de la myogenèse.

Pour ce travail, la séquence promotrice codant pour *capn2* a été analysée, cinq séquences consensus pour les MRF et un site de fixation pour MEF-2 ont été identifiés. Dans le but de comprendre le mécanisme de régulation de ce gène, ces séquences ont été testées grâce à des constructions contenant des gènes rapporteurs. Ces expérimentations ont révélé que MyoD présentait une forte activité transcriptionnelle pour ces régions, particulièrement pour la séquence contenant "MEF-2/E4 box". De plus, la surexpression de ces facteurs a permis de démontrer que MyoD et myogénine étaient tous les deux capables de réguler positivement *capn2*, seuls ou en combinaisons, alors que Myf5 n'avait aucun effet. En outre, la stratégie antisens a démontré que MyoD présentait un rôle crucial et spécifique pour la régulation de ce gène et que ce rôle ne pouvait être compensé ni par myogénine, ni par Myf5.

COMPARAISON DE PORCS PRESENTANT DES TENEURS EXTREMES EN LIPIDES DANS LE MUSCLE *LONGISSIMUS* 1 – PERFORMANCES DE CROISSANCE ET QUALITES DES CARCASSES ET DES VIANDES

LEBRET B. [1], LOUVEAU I. [1], DAMON M. [1], GONDRET F. [1], LEFAUCHEUR L. [1], MOUROT J. [1], HERPIN P. [1], LE ROY P. [2]
INRA, [1]Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles;
[2] Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas

Introduction

La teneur en lipides intramusculaires (LIM) influence les qualités sensorielles des viandes porcines (Barton-Gade & Bejerholm, 1985; Eikelenboom et al., 1996), un taux de lipides compris entre 2.5 et 3.0% dans le muscle *Longissimus lumborum* (LL) apparaissant comme optimal (Barton-Gade & Bejerholm, 1985; Fernandez et al., 1999). Or, la teneur moyenne en lipides de ce muscle (LIM-LL) est d'environ 1.5% chez les génotypes conventionnels de porcs alors qu'elle est beaucoup plus élevée dans certaines races (Duroc, Meishan) (Sellier, 1998). Récemment, Janss et al. (1997) ont postulé, chez les porcs Meishan, l'existence d'un gène (*MI*) à effet majeur sur le taux de LIM, dont l'allèle récessif *imf* (pour "intramuscular fat") augmenterait fortement ce taux. Un programme de recherche a alors été mis en place à l'INRA (Sanchez et al., 2002) afin de tester l'hypothèse de la présence de l'allèle *imf* dans la race Duroc, qui présente une forte teneur en LIM (Bout et al., 1990) mais des performances de croissance et de composition corporelle proches des génotypes utilisés en production (Young, 1992). Ainsi, deux groupes de porcs issus d'une population F2 Duroc x Large White et présentant des teneurs extrêmes en LIM-LL ont été comparés. Nous décrivons ici leurs performances de croissance et les qualités des carcasses et des viandes. Les comparaisons des propriétés métaboliques et histologiques du muscle LL sont présentées dans un second article.

Matériel et méthodes

Animaux. A partir d'une population de porcs F2 Duroc x Large White élevée au domaine INRA du Magneraud (Sanchez et al., 2002) des porcs mâles castrés présentant une teneur en LIM-LL extrême au poids moyen de 70 kg (déterminée à partir d'une biopsie selon Folch et al., 1957) ont été choisis. Au poids moyen 106 kg, ils ont été transportés vers l'INRA de Saint-Gilles et mis en attente une nuit avant d'être abattus après anesthésie à bas voltage et saignée. Deux groupes d'animaux ont alors été constitués sur la base d'une nouvelle détermination post-mortem du taux de LIM-LL (Folch et al., 1957) : bas (**B,** n=6) et haut (**H**, n=6), avec en moyenne 1.99 et 3.43% de LIM-LL, respectivement ($P < .001$).

Caractéristiques des carcasses et des muscles et critères de qualité de viande. Le poids de la carcasse, la teneur en viande maigre et l'épaisseur moyenne de lard dorsal, ainsi que les poids des morceaux de découpe (Découpe Parisienne Normalisée) de la demie carcasse gauche ont été enregistrés. Les pH 1 (45 min) et ultime (24 h) et la couleur (24 h, L* a* b*, chromamètre Minolta) du LL, ainsi que le taux de LIM du muscle *Rhomboïdeus* (RH) (Folch et al., 1957) ont été déterminés.

Hormones plasmatiques. Les concentrations d'insuline et d'IGF-I plasmatiques ont été déterminées par dosage radioimmunologique (Prunier et al., 1993; Louveau & Bonneau, 1996).

Analyses statistiques. Une analyse de variance (procédure glm, SAS) sur l'effet du groupe (B / H) a été effectuée; en cas d'effet significatif ($P < 0.05$), les moyennes ont été comparées par le test de Tukey.

Résultats et discussion

Les deux groupes de porcs présentent des âges et poids similaires à l'abattage, indiquant que le tri des animaux sur le taux de LIM-LL ne s'est pas accompagné d'une différence en terme de vitesse de croissance des animaux (Tableau 1). Par contre, il existe un écart significatif de composition corporelle entre les deux lots, les porcs H présentant des carcasses plus grasses que les porcs B (épaisseur moyenne de lard dorsal et poids relatifs de la bardière et de la panne supérieurs, poids relatif de la longe inférieur, chez les porcs H). La même tendance est observée sur la teneur en viande maigre des carcasses, bien que l'écart entre lots ne soit pas significatif. Ces résultats sont globalement en accord avec les valeurs moyennes de corrélation entre le taux de LIM et les performances de croissance (corrélation nulle) et d'adiposité (corrélation positive et moyenne) publiées dans la littérature (Sellier, 1998).

L'insulinémie ne diffère pas significativement entre les deux groupes, alors que la concentration plasmatique d'IGF-I tend à être plus faible chez les porcs H que chez les porcs B (Tableau 2). Or, il est établi que l'IGF-I plasmatique reflète l'action de l'hormone de croissance chez des animaux alimentés à volonté, en accroissant la masse musculaire au détriment de la masse adipeuse (Louveau & Bonneau, 2001). Ceci suggère que la différence d'adiposité observée entre les deux groupes pourrait être liée à une différence d'action des hormones somatotropes.

L'écart sur le taux de LIM-LL entre les deux groupes se retrouve au niveau du muscle oxydatif RH, mais à un degré moindre (+40% et +72% de LIM dans le groupe H par rapport au B dans les muscles RH et LL, respectivement) (Tableau 3). Les critères de qualité de viande : vitesse et amplitude de chute du pH post-mortem, potentiel glycolytique, couleur du muscle LL, ne sont pas en moyenne significativement différents entre les deux

groupes. Ces résultats sont à rapprocher de ceux montrant qu'une modification de la teneur en LIM du LL consécutive à différentes stratégies alimentaires est sans effet sur les mesures de pH, couleur ou pertes en eau (Candek-Potokar et al., 1998; Lebret et al., 2001).

Conclusion

Cette étude comparative montre qu'un taux élevé en LIM-LL s'accompagne d'une augmentation de l'adiposité des carcasses, sans affecter significativement la teneur en viande maigre. La variation de LIM-LL s'accompagne d'une variation significative, bien que moins importante, du taux de LIM du Rhomboïde, mais non significative des autres critères de qualité de viande mesurés.

Remerciements. Les auteurs remercient M.P. Sanchez (SGQA), J.C. Caritez (Domaine du Magneraud), ainsi que le personnel de l'abattoir et du laboratoire (N. Clochefert, M. Fillaut et C. Trefeu, UMRVP) pour leur contribution.

Références bibliographiques

Barton-Gade P.A., Bejerholm C. 1985. Eating quality in pork. Pig Farming, 33, 56-57.

Bout J., Girard J.P., Sellier P., Runavot J.P., 1990. Comparaison de porcs Duroc et Large White pour la composition chimique du gras de bardière et du muscle Long dorsal. Journées Rech. Porcine en France, 22, 29-34.

Candek-Potokar M., Zlender B., Lefaucheur L., Bonneau M., 1998. Effects of age and/or weight at slaughter on *longissimus dorsi* muscle : biochemical traits and sensory quality in pigs. Meat Sci., 48, 287-300.

Eikelenboom G., Hoving-Bolink A. H., Van der Wal P. G. 1996. The eating quality of pork. 2. The influence of intramuscular fat. Fleischwirt., 76, 517-518.

Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B. 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *m. longissimus lumborum*. Meat Sci., 53, 59-65.

Folch J., Lee M., Sloane Stanley G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226, 497-509.

Janss L.L.G., van Arendonk J.A.M., Brascamp E.W., 1997. Bayesian statistical analyses for presence of single genes affecting meat quality traits in a crossbred pig population. Genetics, 145, 395-408.

Lebret B., Juin H., Noblet J., Bonneau M. 2001. The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. Anim. Sci., 72, 87-94.

Louveau I., Bonneau M. 1996. Effect of a growth hormone infusion on plasma insulin-like growth factor-I in Meishan and large-White pigs. Reprod. Nutr. Dev., 36, 301-310.

Louveau I., Bonneau M. 2001. Biology and actions of somatotropin in the pig. In : Renaville, R., Burny,A., Biotechnology and Animal husbandry, Kluwer Academic Press, The Netherlands, p. 111-131.

Prunier A., Martin C., Mounier A.M., Bonneau M. 1993. Metabolic and endocrine changes associated with undernutrition in the peripubertal gilt. J. Anim. Sci,. 71, 1887-1894.

Sanchez M.P., Le Roy P., Griffon H., Caritez J.C., Fernandez X., Legault C., Gandemer G., 2002.Déterminisme génétique de la teneur en lipides intramusculaires dans une population F2 Duroc x Large White. Journées Rech. Porcine, 34, 39-43.

Sellier P., 1998. Genetics of meat and carcass traits. *In* The genetics of the pig, Eds M.F. Rotschild and A. Ruvinsky, CAB International, Wallingford, UK. p. 463-510.

Young L.D., 1992. Effects of Duroc, Meishan, Fengjing and Minzhu boars on carcass traits of first-cross barrows. J. Anim. Sci., 42, 1124-1132.

Tableau 1. Performances moyennes de croissance et de carcasse des deux lots

	B	H	Sign.[a]
LIM-LL, %	1.99	3.43	***
Croissance			
Poids vif abattage, kg	107.5	105.8	NS
Age abattage, j	151.3	154.2	NS
Carcasse			
Poids chaud, kg	77.2	78.4	NS
TVM, %	59.3	58.2	NS
Ep. Lard dorsal, mm	17.2	19.9	*
Composition, %[b]			
Jambon	25.4	24.4	†
Longe	33.3	32.0	*
Hachage	18.2	18.0	NS
Poitrine	11.5	12.2	NS
Bardière	8.6	10.4	*
Panne	1.0	1.4	†

[a] *** : $P< 0.001$; * : $P<0.05$; † : $P< 0.1$; NS : $P>0.1$.

[b] En pourcentage de la 1/2 carcasse gauche

Tableau 2. Concentrations plasmatiques moyennes d'insuline et d'IGF-I

	B	H	Sign.[a]
IGF-I (ng/ml)	204	151	†
Insuline (µUI/ml)	7.37	6.59	NS

Tableau 3. Taux de LIM moyen du RH et moyennes pour les critères de qualité de viande (LL)

	B	H	Sign.[a]
LIM RH, %	4.57	6.41	*
Muscle LL			
pH 1	6.37	6.44	NS
pH ultime	5.51	5.61	NS
Potentiel glycolytique[c]	153	146	NS
L*	52.9	51.3	NS
a*	3.64	2.64	NS
b*	7.58	7.14	NS

[c] Exprimé en µmole équivalent lactate/g muscle frais

COMPARAISON DE PORCS PRESENTANT DES TENEURS EXTREMES EN LIPIDES DANS LE MUSCLE *LONGISSIMUS*

2 - CAPACITES DE STOCKAGE ET D'UTILISATION DES LIPIDES INTRAMUSCULAIRES

DAMON M.[1], GONDRET F.[1], VINCENT A.[1], LOUVEAU I.[1], LEBRET B.[1], LEFAUCHEUR L.[1], MOUROT J.[1], LE ROY P.[2], HERPIN P.[1]
INRA, [1]Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles;
[2] Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas

Introduction

Afin de contrôler la teneur en lipides intramusculaires (LIM) du muscle *Longissimus lumborum* (LL) (LIM-LL) indépendamment de l'adiposité de la carcasse, il est nécessaire d'identifier les processus cellulaires et métaboliques impliqués. L'étude est rendue complexe par la coexistence de différents types cellulaires (fibres, adipocytes) dans le muscle. Les lipides contenus dans les fibres sous forme de gouttelettes lipidiques ne représentent qu'une faible proportion des LIM (Lebret et al., 1999). Le nombre et la taille des adipocytes présents dans le perimysium apparaissent en revanche comme des paramètres essentiels dans la variabilité de la teneur finale en LIM (Gondret et al., 1998). Au niveau métabolique, la teneur en LIM pourrait dépendre de l'équilibre entre différentes voies métaboliques (en particulier, lipogenèse dans les adipocytes ou oxydation dans les fibres), et/ou de l'intensité du transport intracellulaire des substrats énergétiques : acides gras (AG) et glucose. Ainsi, le coefficient de corrélation entre le taux de LIM-LL et l'activité de l'enzyme malique, une des enzymes fournissant le NADPH nécessaire à la lipogenèse, est estimé à 0.81 (Mourot et Kouba, 1999). Par ailleurs, une association significative entre la teneur en LIM et le polymorphisme de deux gènes codant pour des protéines de transport des AG, FABP-A (exprimée dans les adipocytes) et FABP-H (exprimée préférentiellement dans le cœur et le muscle) a été postulée chez les porcs Meishan ou Duroc (Gerbens et al. 2001). L'objectif de cette étude est d'identifier les mécanismes cellulaires et métaboliques impliqués dans les différences de teneur en LIM- LL d'animaux F2 Duroc X large White, pour lesquels les performances de croissance et certains critères de qualité des carcasses et des viandes sont décrits dans l'article précédent.

Matériel et méthodes

Animaux. Des porcs mâles castrés d'une génération F2 Duroc X Large White, élevés au Domaine INRA du Magneraud ont été abattus à l'INRA de Saint-Gilles à un poids moyen de 106 kg. Après détermination de la teneur en LIM-LL (Folch et al., 1957), 2 lots de porcs ont été constitués: teneur basse, 1.99 % en moyenne (lot **B**, n=6), ou teneur haute, 3.43 % en moyenne (lot **H**, n=6).

Transport des substrats énergétiques. Les contenus des transporteurs d'AG, FABP-A et FABP-H, sont mesurés par la technique de western-blot (Laemmli, 1970). L'immunodétection est réalisée par incubation avec des anticorps spécifiques gracieusement fournis par J.H. Veerkamp. Après détection par chimioluminescence et autoradiographie, les signaux sont quantifiés par analyse d'image. L'expression des ARNm codant pour GLUT4 est mesurée par protection à la RNAse (RPA) (Gerfault et al., 2000).

Potentiel oxydatif. La mesure *in vitro* de l'oxydation de l'acide oléique marqué au ^{14}C est réalisée, le jour de l'abattage, sur des homogénats musculaires (Veerkamp et Van Moerkerk, 1986). Brièvement, le CO_2 dégagé est préalablement piégé par un mélange d'éthanolamine-éthylène glycol tandis que les produits intermédiaires radioactifs (acétyl-CoA et composés du cycle de Krebs) sont solubilisés dans de l'acide perchlorique puis mesurés au compteur β.

Potentiel lipogénique. Le potentiel de synthèse de novo des acides gras est caractérisé par la mesure de l'activité de trois enzymes contrôlant une étape-clé de la synthèse (acétyl-Co-A carboxylase, ACC) ou fournissant le NADPH indispensable à la lipogenèse (enzyme malique et glucose-6-phosphate déshydrogénase, G6PDH) (Mourot et Kouba, 1998).

Cellularité. Pour chaque échantillon, 5 coupes (10 µm d'épaisseur) distantes de 50 µm sont réalisées au cryostat, en respectant l'orientation des fibres musculaires, fixées dans du glutaraldéhyde 2.5% puis colorées au Rouge à Huile (Gondret et al., 1998). Le nombre d'adipocytes est déterminé sur toute la surface de coupe et exprimé en nombre par cm² de surface. La surface des adipocytes est mesurée par analyse d'image (Optimas 6.5). Les données correspondent aux moyennes des mesures effectuées sur les 5 coupes.

Résultats et discussion

Les comparaisons des moyennes des 2 lots ne montrent pas de différence significative pour le transport des substrats énergétiques (FABP-A, FABP-H et GLUT4) et les voies métaboliques oxydative ou lipogénique (tableau 1). Cependant, la prise en compte de la variabilité individuelle du taux de LIM par régression linéaire met en évidence des corrélations hautement significatives entre teneur en LIM et respectivement, le contenu en protéine FABP-A ($r = 0.84$, $P < 0.05$), l'activité de l'enzyme malique ($r = 0.55$, $P < 0.001$), ou de l'ACC ($r = 0.69$, $P < 0.01$). Au niveau histologique, l'élévation de la teneur en LIM (+90% dans le lot H par rapport au lot B) résulterait principalement d'une augmentation du nombre d'adipocytes (+175% pour le lot H comparé au lot

B), le diamètre intervenant peu dans les différences observées (+12% pour les adipocytes du lot H par rapport au lot B). Ces données suggèrent que des modifications des mécanismes de prolifération/différenciation adipocytaire seraient à l'origine des différences de teneur en LIM entre groupes. L'absence de variations importantes du diamètre des adipocytes ainsi que des voies lipogéniques suggèrent que la capacité métabolique intrinsèque des adipocytes au cours de la croissance est comparable entre les deux groupes de porcs B et H. Les corrélations entre le taux de LIM-LL et les activités des enzymes de la lipogenèse rapportées ici, qui nécessitent d'être confirmées sur un échantillon plus large d'animaux, pourraient résulter du plus grand nombre d'adipocytes observé dans les muscles les plus riches en lipides. Enfin, une différence de maturité des adipocytes entre les porcs des groupes B et H pourrait être suggérée, la FABP-A étant considérée comme un marqueur tardif de la différenciation adipocytaire (MacDougald et al., 1995).

Conclusion

La comparaison de deux groupes de porcs présentant des teneurs extrêmes en LIM du muscle LL suggère que ce sont principalement les mécanismes de prolifération/différenciation adipocytaire qui distinguent ces deux phénotypes. L'hypothèse d'une capacité de transport et de lipogenèse supérieure dans les muscles à forte teneur en LIM, mise en évidence par régression linéaire au sein de l'ensemble des animaux étudiés ici, nécessite d'être confirmée sur un échantillon plus large. Cette étude renforce l'intérêt pour la protéine FABP-A comme marqueur de la teneur en LIM (Gerbens et al., 2001), et confirme la relation entre l'activité de l'enzyme malique et le taux de LIM- LL observée par Mourot et al. (communication personnelle) sur un échantillon plus important de porcs issus de la même population.

Remerciements

Les auteurs remercient M Fillaut, S. Morlière et C. Trefeu (UMRVP) pour leur contribution technique.

Tableau 1. Influence du taux de LIM sur les caractéristiques métaboliques et histologiques du muscle LL

	B	**H**	**Sign.**[a]
LIM %	1.99	3.43	***
Transport			
FABP-H (protéine UA)	0.163	0.142	NS
FABP-A (protéine UA)	0.068	0.149	NS
GLUT4 (quantité d'ARN UA)	0.899	1.115	†
Potentiel oxydatif			
Oxydation totale de l'oléate (nmoles de ^{14}C libérées/min/g de tissu)	13.33	15.96	NS
Potentiel lipogénique			
ACC (nmole/min/g)	0.59	0.61	NS
G6PDH (nmole/min/g)	62.9	75.6	NS
Enzyme malique (nmole/min/g)	94.9	95.9	NS
Cellularité			
Nombre d'adipocytes par cm^2	241	662	***
Diamètre des adipocytes (µm)	43	49	*

Test de Student, [a] *** : $P < 0.001$;* : $P < 0.05$; † $P < 0.10$; NS : $P > 0.10$.

Références bibliographiques

Folch J., Lee M., Sloane Stanley G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226, 497-509.

Gerbens F., Verburg F.J., Van Moerkerk H.T.B., Engel B., Buist W., Veerkamp J.H., Te Pas M.F.W., 2001. Associations of heart and adipocyte FABP gene expression with intramuscular fat content in pigs. J. Anim. Sci., 79, 347-354.

Gerfault V., Louveau I., Mourot J., Le Dividich J., 2000. Lipogenic enzyme activities in subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle from neonatal pigs consuming maternal or formula milk. Reprod. Nutr. Dev., 40, 103-112.

Gondret F, Mourot J, Bonneau M., 1998. Comparison of intramuscular adipose tissue cellularity in muscles differing in their lipid content and fibre type composition during rabbit growth. Livest. Prod. Sci., 54, 1-10.

Laemmli U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature, 227, 680-685.

Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. La qualité de la viande de porc. Influence des facteurs d'élevage non génétiques sur les caractéristiques du tissu musculaire. Prod. Anim., 12, 11-28.

MacDougald O.A., Lane M.D., 1995. Adipocyte differentiation. When precursors are also regulators Curr Biol., 5, 618-621.

Mourot J., Kouba M., 1998. Lipogenic enzyme activities in muscles of growing Large White and Meishan pigs. Livest. Prod. Sci., 5, 127-133.

Mourot J., Kouba M., 1999 Development of intra- and intermuscular adipose tissue in growing Large White and Meishan pigs. Reprod Nutr Dev., 39, 125-132.

Veerkamp J.H., Van Moerkerk H.T.B., 1986. Peroxisomal fatty acid oxidation in rat and human tissues: effect of nutritional state, clofibrate treatment and postnatal development in the rat. Biochim. Biophys. Acta, 875, 301-310.

ETUDE DES MODIFICATIONS PROTEIQUES *POST MORTEM* DANS LE MUSCLE DE BAR PAR ELECTROPHORESES MONO-ET BI-DIMENSIONNELLE

M. MORZEL[1], C. LADRAT[2], J. FLEURENCE[2] et V. VERREZ-BAGNIS[2].
1 : INRA, Station de Recherches sur la Viande, 63122 St-Genès Champanelle
2 : IFREMER, VP- Biochimie des Protéines et Qualité, 44311 Nantes

Introduction

Les premières phases de détérioration de la fraîcheur du poisson sont caractérisées par une protéolyse d'origine endogène, générant des substrats permettant la croissance d'une flore bactérienne d'altération. Toutefois, en dépit de l'importance toute particulière des phénomènes de protéolyse *post mortem*, la fraîcheur est généralement évaluée suivant des méthodes physico-chimiques (mesures d'impédance, quantification d'Azote Basique Volatile Total), sensorielles ou microbiologiques.
Des travaux préliminaires sur plusieurs espèces de poisson (sardine, turbot) ont mis en évidence la libération et dégradation progressive de protéines myofibrillaires telles que la desmine (Verrez-Bagnis et al., 1999) ou l'α-actinine (Papa et al., 1996), en corrélation avec la perte de fraîcheur. L'objet de cette étude était donc de rechercher des indicateurs protéiques de fraîcheur, à l'aide notamment de l'outil d'analyse très puissant qu'est l'électrophorèse bi-dimensionnelle.

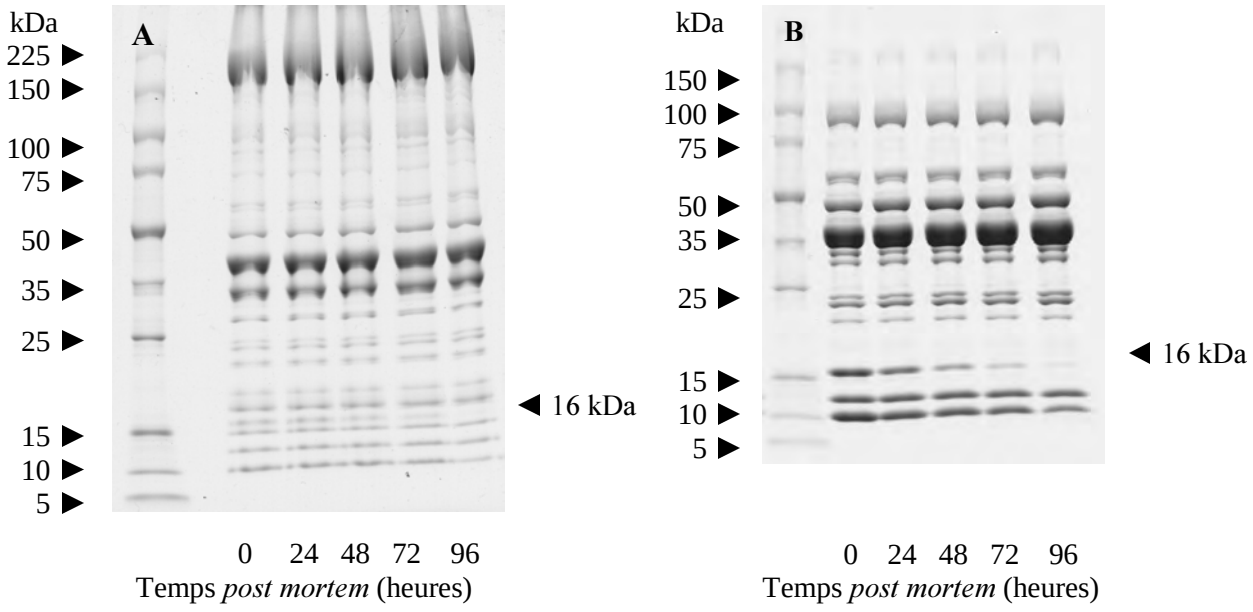
Matériels et méthodes

Des échantillons de muscle blanc dorsal de bar (*Dicentrarchus labrax*) ont été prélevés 0, 24, 48, 72 et 96 heures *post mortem*. Des extraits de protéines totales et de protéines solubles à faible force ionique ont été soumis à électrophorèse (SDS-PAGE à gradient de concentration 4-20%). Les protéines totales ont également été soumises à électrophorèse bi-dimensionnelle (isoélectrofocalisation sur bandelettes 3-10 linéaires, SDS-PAGE à gradient de concentration 5-16%). Par ailleurs, la localisation de trois protéines myofibrillaires importantes dans les phénomènes de désorganisation du muscle (tropomyosine, desmine et actine) a été effectuée sur les cartes 2-D par Western blot.

Résultats

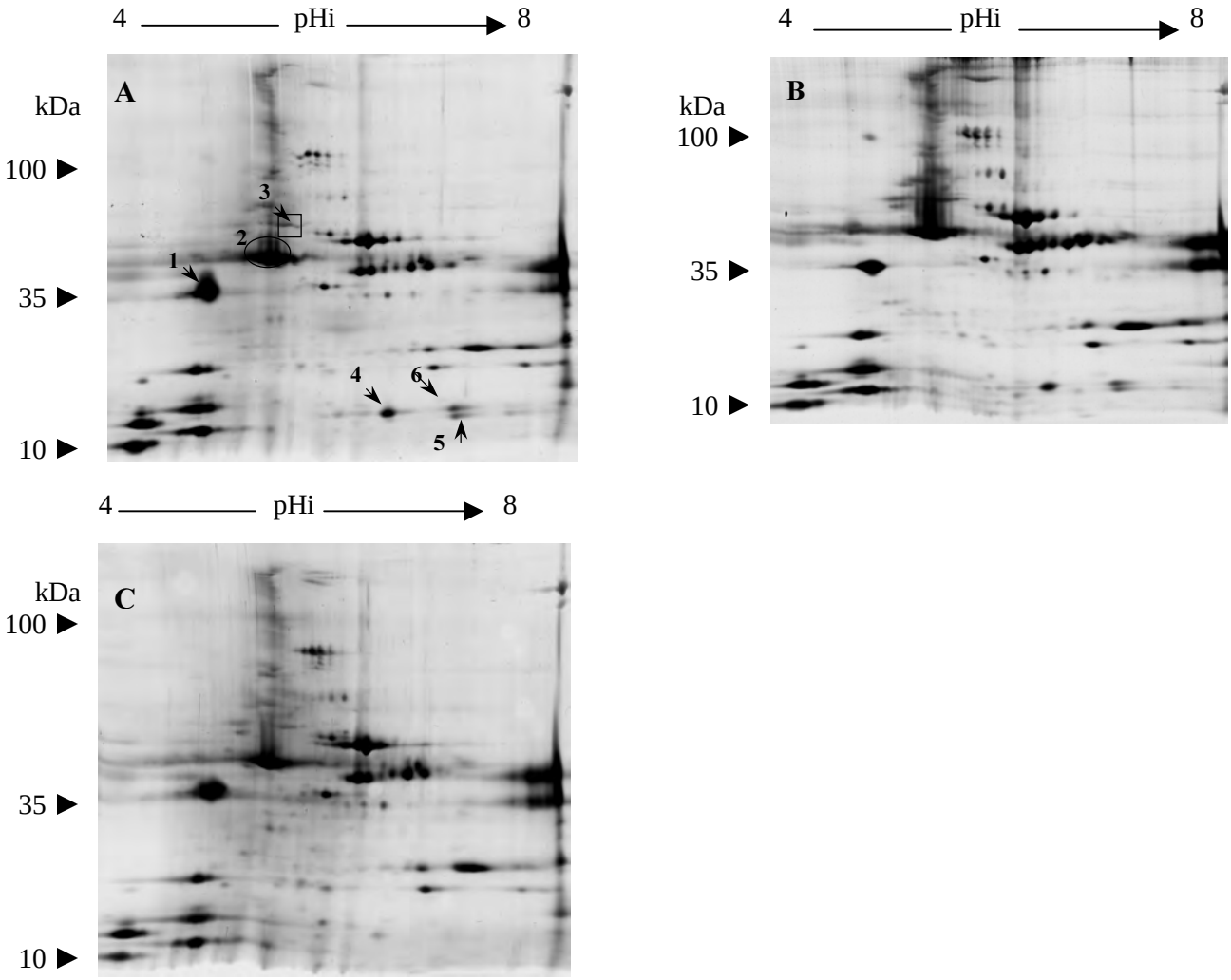
Les gels SDS-PAGE ont mis en évidence la disparition progressive d'une bande correspondant à une ou plusieurs protéine(s) d'environ 16 kDa (Figure 1). Sa forte représentation dans la fraction soluble à faible force ionique indique qu'il s'agit d'une protéine sarcoplasmique. Après 96 heures, la dégradation était effective à 94%.

Figure 1. Electrophorèse SDS-PAGE de protéines totales (A) et de protéines solubles à faible force ionique (B)



Les cartes 2-D obtenues à 0, 48 et 96 h post mortem (Figure 2a, 2b et 2c) ont révélé que trois spots sont caractéristiques des stades précoces de fraîcheur puisqu'ils sont très faiblement représentés après 96h. Ces spots notés 4, 5 et 6 sur la figure 2a correspondent à des protéines ou fragments de protéines de pI et PM 6,76/16kDa, 7,49/17,6 kDa et 7,45/17,7 kDa.

Figure 2. Electrophorèse bi-dimensionnelle de protéines totales à 0, 48 et 96 h post mortem (2a, 2b et 2c, respectivement).
1: tropomyosine, 2: actine , 3: desmine. 4, 5 et 6: spots caractéristiques des phases précoces de fraîcheur.



L'identification de ces bande et spots dans la zone de poids moléculaire 16-18 kDa n'a pas été faite.

Conclusions et perspectives

Les méthodes électrophorétiques ont révélé que les modifications protéiques dans le muscle de bar au cours des 96 premières heures *post mortem* sont très limitées, tout du moins en ce qui concerne les protéines de PM inférieur à 100 kDa. Il serait néanmoins intéressant d'identifier les trois spots précédemment décrits. Ces protéines ou fragments de protéines, probablement sarcoplasmiques, seront également étudiées dans d'autres espèces afin d'évaluer la possibilité de les utiliser en tant qu'indicateurs protéiques de fraîcheur.

Références bibliographiques

Papa I., Alvarez C., Verrez-Bagnis V., Fleurence J. et Benyamin Y. 1996. Post-mortem release of fish white muscle α-actinin as a marker of disorganisation. J. Sci. Food Agric. 72: 63-70.

Verrez-Bagnis V., Noel J., Sautereau C. et Fleurence J. 1999. Desmin degradation in postmortem fish muscle. J. Food Sci. 64 : 240-242.

Sécurité alimentaire

Animateurs : J-P. FRENCIA (ADIV)
et J. LABADIE (INRA – Clermont –Fd)

Conférences

MICRO-ORGANISMES PATHOGENES EMERGENTS DANS LA FILIERE VIANDE

GEORGES DAUBE

Université de Liège, Faculté de médecine vétérinaire, Département des Sciences des Denrées alimentaires – Microbiologie– Bât.B43b, Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique
Georges.Daube@ulg.ac.be - Site web : mda04.fmv.ulg.ac.be

RESUME

Si les viandes sont soumises à de multiples sources de contamination microbiennes liées à la longueur et à la complexité de leur parcours de l'étable à la table du consommateur, ces dangers potentiels doivent être considérés en terme de risque réel pour la santé. Pour ce faire, il faut pondérer selon la méthodologie de l'appréciation des risques chacun de ces dangers en terme de fréquence, ou de probabilité d'apparition, et en terme de gravité. Parmi ces agents, plusieurs ne font parler d'eux que depuis quelques années ou dizaines d'années et sont donc repris dans le vocable des "germes émergents". Cette émergence est due à plusieurs phénomènes distincts. Parfois, il s'agit réellement de l'apparition d'un nouvel agent pathogène comme l'*Escherichia coli* entérohémorragique de sérotype O157:H7 ou, probablement, l'agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine. Plus souvent, il s'agit de légères modifications de certaines souches, par exemple de *Salmonella*, qui leur donnent un avantage compétitif. Les progrès de la science en terme de connaissance des micro-organismes ou en terme de méthodologie de diagnostic permettent de mettre en évidence l'importance de certains micro-organismes auparavant négligés mais probablement impliqués depuis longtemps dans des toxi-infections (calicivirus, *Cryptosporidium spp*, *Listeria monocytogenes*, *Arcobacter spp*, *Aeromonas hydrophila*, etc.). Parfois, ce sont les progrès de la médecine elle-même, notamment à travers les traitements anticancéreux ou immunosuppresseurs, qui permettent à certains germes, autrement saprophytes, de devenir pathogènes. Enfin, la modification des pratiques de commerce, d'élevage, d'abattage, de transformation, de distribution ou même de consommation permettent à certains micro-organismes maîtrisés de jouer à nouveau un rôle significatif d'où l'appellation de germes "réémergents" (*Campylobacter*, *Salmonella*) pour ces derniers. Comme d'autres pays, la Belgique dispose de structures performantes de surveillance des agents pathogènes dans la filière carnée. Elles permettent de suivre les évolutions d'un point de vue qualitatif et quantitatif afin d'orienter les gestionnaires du risque.
MOTS-CLES : sécurité alimentaire, pathogènes émergents, viande, hygiène

INTRODUCTION

RISQUES POUR LA SANTE ASSOCIES A L'ALIMENTATION CARNEE

Les récentes crises qui ont secoué et secouent encore le secteur alimentaire et celui de la viande en particulier nous incitent à penser que la qualité de celle-ci est en perpétuelle dégradation et qu'il vaut donc mieux se tourner vers des sources alternatives de protéines. Cette brève mise au point vise à rétablir la vérité quant aux risques réels encourus par les consommateurs et à esquisser les moyens mis en œuvre pour les surveiller et les prévenir.

Si les viandes sont soumises à de multiples sources de contamination liées à la longueur et à la complexité de leur parcours de l'étable à la table du consommateur, ces dangers potentiels doivent être considérés en terme de risque réel pour la santé. Pour ce faire, il faut pondérer chacun de ces dangers en terme de fréquence, ou de probabilité d'apparition, et en terme de gravité. Cette dimension, appelée analyse du risque, a longtemps été négligée mais elle est à la base de toutes les politiques récentes de santé publique. La méthodologie pour la réalisation d'analyses du risque a été standardisée par le *Codex Alimentarius*, instance scientifique de l'Organisation mondiale du Commerce (OMC), qui préconise cette analyse préalablement à toute décision, basée sur des notions de santé publique, concernant les échanges internationaux. Elle est utilisée pour définir les priorités d'action dans de nombreux pays.

LES ZOONOSES ET AUTRES RISQUES BIOLOGIQUES

Parmi les maladies infectieuses, celles qui sont contractées par l'alimentation sont en extension. Parmi ces dernières, beaucoup résultent de la consommation de denrées d'origine animale contaminées par des germes ayant pour origine nos animaux domestiques. Pour la viande, la contamination a lieu surtout lors des pratiques d'abattage à partir du contenu digestif de l'animal mais une contamination par les opérateurs ou via l'environnement est possible aussi tout le long de la filière de transformation, distribution ou consommation (1). Le tableau 1 illustre l'origine des principaux agents pathogènes pour l'homme transmissibles via la viande fraîche. Nous limiterons volontairement notre discussion à certaines infections qui proviennent de germes portés par les animaux car elles sont les plus importantes en terme de fréquence et de gravité. Elles sont comprises dans les "zoonoses", à savoir les maladies transmissibles des animaux vertébrés à l'homme.

Tableau 1. Origines des principaux agents pathogènes transmis par les viandes.

Agent	Symptômes	Origine
Bactéries		
Salmonella	Diarrhée sévère, selles aqueuses, nausées, vomissements, fièvres	Animaux, homme
Campylobacter, Arcobacter	Diarrhée, fièvre, malaise, céphalées, frissons, caillots de sang dans les selles	Animaux, homme
Yersinia enterocolitica entéropathogène	Douleurs abdominales, diarrhée, fièvre	Porcs, homme
Escherichia coli entérohémorragiques dont le sérotype O157:H7	Diarrhée aqueuse devenant sanglante. Douleurs abdominales, nausées. Syndrome hémolytique et urémique, blocage rénal, mort (O157:H7)	Bovins, homme
Listeria monocytogenes	Fausses couches, septicémies chez les nouveau-nés, méningites	Environnement, animaux, homme,
Staphylococcus aureus	Diarrhée aqueuse, explosive; nausées; vomissements; crampes abdominales.	Homme, animaux
Clostridium perfringens	Diarrhée aqueuse, nausées, crampes abdominales.	Animaux, homme, environnement
Clostridium botulinum	Nausées, vomissements, diarrhées ou constipation, dysphagie, diplopie, paralysie musculaire	Animaux, homme, environnement
Bacillus cereus	Diarrhée, vomissement	Environnement, animaux
Aeromonas hydrophila	Diarrhée	Environnement, eau, animaux
Shigella	Diarrhée, fièvre, vomissements, crampes abdominales, mucus sanglant dans les selles	Homme
Virus		
Virus Norwalk et Norwalk-like	Nausées, vomissements, diarrhée	Homme, (animaux)
Parasites		
Cryptosporidium spp	Diarrhée profuse	Homme, animaux
Toxoplasma gondii	Malformations congénitales	Animaux
Agents transmissibles non conventionnels		
Agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine	Nouveau variant de la maladie de Creutzfeld-Jacob	Matériels à risque spécifiés de bovins

Les zoonoses ne sont pas un problème récent dans l'histoire de l'humanité. De tout temps, l'homme a du vivre avec les animaux et a pu contracter des maladies, soit par contact direct avec eux, soit via l'environnement ou les denrées alimentaires contaminés. Les agents zoonotiques sont très nombreux; ils peuvent être des virus, des bactéries, des parasites, des protozoaires, voire des agents transmissibles non conventionnels. Certains de ces agents peuvent causer des maladies très graves voire mortelles, telles que la peste, la rage, le charbon bactéridiens ou la brucellose. Heureusement, dans nos pays, ces affections ont pratiquement disparu. Par contre, des problèmes sous-jacents semblent prendre le relais et sont fréquemment inclus parmi les maladies émergentes ou réémergentes

TYPES DE MICRO-ORGANISMES EMERGENTS ASSOCIES A LA VIANDE

Les agents zoonotiques responsables de maladies émergentes ne causent que peu ou pas de problèmes sanitaires directs dans les élevages, mais sont responsables chez l'homme de maladies très fréquentes, telles les gastro-entérites, en général bénignes, à *Cryptosporidium*, *Salmonella* ou *Campylobacter*, mais aussi parfois mortelles, comme pour la listériose (*Listeria monocytogenes*), le botulisme (*Clostridium botulinum*) ou les syndromes urémiques-hémolytiques (*E. coli* O157 entérohémorragiques). L'émergence ou l'extension de ces problèmes résultent d'un ensemble de phénomènes qui seront brièvement illustrés ci-dessous.

MICRO-ORGANISMES EMERGENTS "FAUX" RESULTANT DE PROGRES DANS LES CONNAISSANCES

D'énormes progrès ont été enregistrés ces dernières années pour la détection et le typage des agents infectieux. Ceux-ci ont élucidé la nature et révélé l'importance et les sources de pathogènes transmis par les viandes. Les enquêtes concernant les sources de toxi-infections d'origine alimentaire sont très souvent incapables de révéler l'agent responsable. Des efforts sont donc encore nécessaires afin de préciser l'importance relative de chaque germe.

Un des premiers exemples bien connu de ce phénomène de progrès continuel dans les connaissances est *Listeria monocytogenes*. Ce micro-organisme était depuis longtemps reconnu comme étant la cause de graves maladies chez l'homme comme chez les animaux. Cependant, ce n'est que très récemment, à la lumière d'enquêtes sur des foyers épidémiques en Suisse et en France, que la consommation d'aliments contaminés a été démontrée comme la source principale de cet agent infectieux chez l'homme. Ces nouveaux outils analytiques, traditionnels ou faisant appel aux techniques moléculaires, ont permis de mieux connaître l'écologie de ce germe et de tracer les sources de contamination dans les industries agro-alimentaires (2).

Pour certains agents, comme les *Campylobacter*, la situation en terme d'incidence en Europe semble très différente même entre des pays voisins. Cependant, après formation des laboratoires cliniques et alimentaire, il semble bien que, partout dans le monde, ce micro-organisme est probablement le principal agent pathogène transmis par les viandes et cela depuis longtemps. De récentes publications semblent montrer que le genre *Arcobacter* ou l'espèce Aeromonas hydrophila jouent aussi un rôle non significatif mais totalement ignoré jusqu'il y a peu (3, 4).
Les calicivirus de type Norwalk appartiennent à la famille de *Caliciviridae*. Les virus faisant partie de cette famille infectent l'homme et les animaux. Elle est divisée en quatre genres : lagovirus, vesivirus, Norwalk-like virus (NLV), et Sapporo-like virus (SLV). Les genres vesivirus et lagovirus contiennent un grand nombre de calicivirus animaux, par contre, les virus des genres NLV et SLV jusqu'à récemment avaient été uniquement mis en évidence chez l'homme. Il y a quelques années, les NLV se sont révélés être une cause de gastro-entérites infectieuses parmi tous les groupes d'âge et la cause principale d'épidémie de gastro-entérites dans les restaurants ou les institutions comme les hôpitaux ou les homes (5). Plusieurs études ont par le passé révélé la présence de virus apparentés aux virus Norwalk-like dans les espèces porcine (6) et bovine (7, 8). Plus récemment, l'étude de van der Poel *et al.* (9) a montré que pour les veaux, 44 % des échantillons de matières fécales analysés par RT-PCR contenaient des particules virales Norwalk-like ainsi que 2 % des matières fécales de porcs. Toutes ces découvertes mettent en avant des questions importantes à propos de la catégorie d'hôte des virus de type Norwalk. Il n'est pas clair si les virus Norwalk-like animaux forment une lignée stable distincte génétiquement ou s'ils font partie d'un pool de virus circulant parmi les hommes et les animaux. Parmi les hypothèses évoquées, les animaux pourraient être soit des porteurs passifs de ces virus (réservoirs animaux), soit infectés de manière active par ces virus responsables, dès lors, d'une zoonose. Des méthodes pour étudier de telles transmissions inter-espèce devraient être développées.
Pour le genre *Cryptosporidium*, les scientifiques sont encore aux hypothèses. Suite à des études de typage moléculaire, il semblerait que des souches animales de *Cryptosporidium parvum* ou d'autres espèces soient transmissibles à l'homme (10, 11). L'importance relative de la viande comme support de l'infection chez l'homme reste à préciser mais la faible dose infectante de ce germe permet dès à présent de considérer que la consommation de viande crue est une voie possible de transmission de la cryptosporidiose ou d'autres affections à protozoaires à l'homme.

MICRO-ORGANISMES EMERGENTS "VRAIS" RESULTANT DE MODIFICATIONS DES MICRO-ORGANISMES

Il semble bien que l'évolution des micro-organismes eux-mêmes est à l'origine de l'émergence de nouvelles pathologies chez l'homme. Même si la preuve formelle est difficile à apporter, des enquêtes rétrospectives ou des études phylogéniques basées sur des outils moléculaires permettent d'approcher la vérité.
Le cas des *E. coli* O157:H7 entérohémorragiques en est un bel exemple (12). L'importance de cet *E. coli* comme pathogène à transmission alimentaire a été mise en évidence en 1982 aux Etats-Unis suite à un foyer épidémique lié à la consommation de hamburgers contaminés. Des recherches rétrospectives ont permis la confirmation de souches isolées antérieurement mais des études sérologiques et statistiques ont permis de montrer que les pathologies liées à ce germes étaient d'extension relativement récente. Des études moléculaires comparatives ont permis de modéliser l'origine et l'évolution de cette souche qui l'ont amené à rassembler les facteurs de virulence qui lui permettent d'exercer ses effets néfastes sur l'homme.
Le même raisonnement peut être tenu pour *Salmonella*. En effet, certains sérotypes, lysotypes ou biotypes semblent apparaître, augmenter en incidence, puis diminuer, voire disparaître (13). Ces modifications sont enregistrées au plan local, au niveau national ou même dans le monde entier. De nouveau, il est difficile de faire la part des choses entre l'apparition d'un nouveau variant totalement inédit et la sélection d'une souche présente "à bas bruit" depuis longtemps. Cependant, de toute façon, ce sont très souvent des modifications de l'environnement du micro-organisme qui sont à l'origine de l'émergence de ces souches, comme illustré dans le dernier point développé dans ce chapitre.
Pour l'agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), beaucoup de questions restent en suspens à ce jour. Est-ce un agent préexistant chez le bovin mais de façon sporadique ou est-ce une modification récente d'un agent existant chez le mouton, par exemple? La question reste posée mais il est certain maintenant que son émergence résulte de changements dans la fabrication des aliments pour bétail.

MICRO-ORGANISMES EMERGENTS RESULTANT DE MODIFICATIONS DE LA SUSCEPTIBILITE DE L'HOTE

Certaines maladies se manifestant par une modification de l'immunité de l'individu, comme le SIDA, sont responsables du développement de maladies contre lesquelles l'homme lutte normalement efficacement. Les progrès de la médecine, eux-mêmes, comme les traitements immunosuppresseurs ou l'antibiothérapie, ont parfois des effets secondaires indésirables qui sont à l'origine de l'émergence de germes auparavant rarement rencontrés. Certains, notamment des protozoaires (*Toxoplasma, Cryptosporidium,* etc.) ou des bactéries (entérobactéries ou *Clostridium* par exemple), peuvent être ingérés via une viande contaminée et provoquer des maladies graves comme des septicémies.

MICRO-ORGANISMES EMERGENTS OU REEMERGENTS RESULTANT DE MODIFICATIONS DES PRATIQUES

Comme développé plus haut, notamment pour l'ESB, si le hasard peut expliquer l'émergence de certains micro-organismes, c'est en grande partie dans la modification de nos pratiques agricoles, industrielles ou de consommation qu'il faut chercher le déterminisme des changements observés. C'est en comprenant mieux cette interaction germe-hôte-milieux de la "fourche à la fourchette" qu'il sera possible de prévenir l'apparition ou l'extension de problèmes de sécurité alimentaire.
Listeria monocytogenes est un bel exemple. Ce germe peut, dans la viande, provenir de l'animal lui-même mais, plus souvent encore, de l'environnement des abattoirs et ateliers de découpe. Le maintien de ces outils à basse température et

sous une humidité relative élevée favorise la survie et la multiplication de *Listeria.* Une parfaite maîtrise du nettoyage et de la désinfection est nécessaire. Si ce n'est le cas les viandes risquent d'être toutes contaminées à un niveau élevé. Heureusement, sur la viande fraîche, la compétition microbienne permet souvent de limiter le niveau de contamination à quelques centaines de germes par gramme. Le problème est tout autre sur des produits transformés cuits conditionnés sous vide ou sous atmosphère protectrice. *Listeria* y a le champ libre pour se multiplier jusqu'à des niveaux réellement dangereux pour le consommateur. Le recours à ces techniques de conservation permettant, d'un point de vue organoleptique, de définir des dates limites de consommation longues ainsi que l'industrialisation des productions qui s'accompagne de grandes séries de produits préparés en même temps sont à l'origine des foyers épidémiques enregistrés depuis 20 ans. Une hygiène irréprochable, un retraitement post conditionnement ou une adaptation des recettes est nécessaire pour voir disparaître ce germe de la liste noire.
Le profil des salmonelloses humaines observées dans les différentes régions du monde permet très bien d'illustrer l'importance de l'environnement sur l'apparition ou la disparition de certains sérotypes (13). Là où l'hygiène générale est déficiente, *Salmonella typhi* responsable de la fièvre typhoïde règne. Dans nos pays, cette dernière a disparu et d'autres sérotypes (enteritidis ou typhimurium) hébergés par nos animaux domestiques dominent. Il faut donc trouver d'autres moyens de lutte adaptés. L'influence des élevages industriels de porcs et de volailles sur l'émergence de *Salmonella* et de *Campylobacter* est une belle illustration de ce qui se passe. Le fait d'élever ensemble un grand nombre d'animaux en claustration fait que, si un paramètre n'est pas sous maîtrise, il va rapidement se généraliser à tous les animaux. Ces deux germes pathogènes pour le consommateur ne sont pas sous contrôle car il ne sont pas responsables d'effets économiques perceptibles par l'éleveur. Cependant la dimension "santé publique" prenant de plus en plus d'importance, ces paramètres doivent être intégrés dans les programmes de maîtrise. Dans les pays où des programmes de prévention dans les élevages sont mis en place, certains sérotypes de *Salmonella* régressent chez l'homme. C'est particulièrement spectaculaire avec *Salmonella enteritidis* dans la filière des poules pondeuses (13). A long terme, l'élevage industriel en claustration, tant décrié, aura probablement plus facile que les autres à se prémunir des risques que l'élevage traditionnel mais tout accident aura des retentissements plus grands.
Certaines pratiques culinaires ont des répercussions directes sur l'émergence de pathogènes. Lors de la crise "de la dioxine" en Belgique en juin 1999, la volaille a été retirée du commerce pendant plusieurs semaines. Cette année-là, le pic de cas de campylobactérioses constaté chaque année en Belgique au moment des premiers barbecues n'a pas été enregistré, démontrant indirectement l'importance de la viande de volaille dans la transmission de cette affection (14).
Enfin, des cas de botulisme ont été constaté suite à la consommation de produits alimentaires conditionnés sous vide alors ces produits n'étaient pas considérés à risque auparavant, démontrant l'importance d'une évaluation approfondie de tout progrès technologique.

Une fois de plus, comme l'indiquent les récentes crises qui ont secoué le secteur agro-alimentaire, il est urgent de se pencher sur une évaluation objective des risques tout le long de la filière et plus seulement au stade du consommateur final (15). Le secteur agricole doit prendre conscience de son rôle essentiel dans la protection de la santé publique et ne plus vivre en autarcie avec les impératifs économiques comme principal guide. Encore plus que dans d'autres problématiques telles que celles des résidus ou des contaminants, une approche "filière" doit être mise en place pour prévenir les risques microbiologiques liés à notre alimentation du XXI^{ème} siècle.

SYSTEMES DE SURVEILLANCE

SYSTEMES INTERNATIONAUX DE SURVEILLANCE DES GERMES EMERGENTS

Il y a dix ans, seules les toxi-infections d'origine alimentaire chez l'homme étaient enregistrées au niveau international par une structure établie à l'initiative de la FAO et de l'OMS. Un formulaire de déclaration standardisé reprenait les principales données résultant des enquêtes menées auprès des malades, enquêtes se limitant en général à identifier l'aliment responsable, le germe incriminé et les circonstances. Cependant, les données communiquées par les différents pays étaient malgré tout difficilement comparables et très partielles. À cette époque, les données concernant les taux et les niveaux de contamination des aliments et des animaux par les germes zoonotiques n'étaient disponibles que dans la littérature scientifique sans coordination internationale.
La directive 92/117/CEE, appelée « directive zoonoses » et ses différentes mises à jour ont ouvert la voie vers un échange obligatoire de données entre les différents pays membres de l'Union européenne concernant certains de ces agents zoonotiques de « la fourche à la fourchette ». Cependant, si cette directive rend la déclaration obligatoire, elle ne précise pas, à de rares exceptions près, les moyens de surveillance à mettre en œuvre. Il en résulte de grandes disparités entre les états membres et une difficulté certaine pour les laboratoires communautaires de référence de Berlin et de Bilthoven pour compiler les données. Ces centres travaillent actuellement à une meilleure standardisation des déclarations ; standardisation qui, alliée avec d'autres initiatives européennes, telles que celles découlant de la décision européenne 98/2119 visant à la surveillance des maladies infectieuses chez l'homme, permettra probablement de connaître précisément la situation aux deux extrémités de la chaîne, c'est-à-dire l'homme et les animaux d'élevage. Par contre, au niveau des denrées alimentaires, de grosses difficultés restent à surmonter. Les principaux écueils sont les suivants : les différences nationales concernant les appellations des aliments, leurs technologies de fabrication, de conservation, les habitudes de consommation, les procédures d'échantillonnage, d'analyse ou d'expression des résultats. Si, au niveau des laboratoires de microbiologie, la normalisation, la validation et l'accréditation permettent d'espérer, à terme, d'obtenir des résultats reproductibles, beaucoup de travail reste à faire en amont. Il est urgent de mettre en place au niveau européen, à l'instar de ce qui est fait pour les résidus ou les contaminants, de vastes études épidémiologiques afin de

pouvoir évaluer et prévenir les risques microbiologiques. Les quelques campagnes en cours (ENTER-net, par exemple) devraient être encouragées, mieux conçues et exploitées pour donner des informations réellement pertinentes et permettre à l'Europe de se défendre dans le grand marché mondial.

LES PLANS DE SURVEILLANCE CONCERNANT LES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE EN BELGIQUE

La Belgique, forte de plus de 10 millions d'habitants, dispose de systèmes de surveillance des maladies infectieuses efficaces qui permettent d'estimer l'importance des toxi-infections alimentaires (Tableau 2) (16).

Tableau 2. Nombre de cas de maladies transmissibles par les aliments, dont la viande, déclarés par les laboratoires-vigies (*) et les laboratoires de référence en 2000 en Belgique (5).

Germes responsables	Nombre de cas
Salmonella spp.	14 088
*Campylobacter**	7 473
*Cryptosporidium**	659
*Yersinia enterocolitica**	572
E. coli vérocytotoxinogène*s*	47
Listeria monocytogenes	48

Depuis 1996, l'Institut d'expertise vétérinaire, avec l'aide des Universités et centres de référence, met en place un plan annuel de surveillance des germes zoonotiques. Les principales denrées d'origine animale issues des abattoirs et ateliers de découpe sont étudiées d'un point de vue qualitatif et quantitatif. Le taux et/ou le niveau de contamination par *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica* pathogène (résultats non montrés) et *Escherichia coli* entérohémorragique de sérotype O157, ont été mesurés (Tableaux 3 et 4). Depuis 1998, le plan de surveillance des germes pathogènes est couplé à un plan d'hygiène visant à évaluer les performances des différents établissements belges et à réduire la contamination résultant des animaux vivants. De plus, toutes les souches isolées ont été typées par les laboratoires de référence (Tableau 5) et les profils d'antibiorésistance ont été déterminés (résultats non montrés). Depuis 2000, ces plans de surveillance servent à évaluer l'efficacité des plans de prévention mis en œuvre par les producteurs (17-19).

Tableau 3. Prévalence estimée de *Salmonella* et de *Campylobacter* dans les viandes en Belgique calculée à partir des plans de surveillance 1997-2001 de l'Institut d'Expertise vétérinaire (intervalles de confiance à 95%) (17, 18)

Espèce animale	Échantillons	Prévalence estimée de *Salmonella*	Prévalence estimée de *Campylobacter*
Gros bovins	Carcasses (400 cm^2)	1 à 7 %	0 à 12 %
	Foies (400 cm^2)	3 à 13 %	20 à 45 %
	Découpe (25 g)	1 à 8 %	1 à 14 %
	Viande hachée (25 g)	1 à 9 %	0 à 5 %
Veaux	Carcasses (400 cm^2)	0 à 5 %	0 à 9 %
	Foies (400 cm^2)	0 à 6 %	5 à 23 %
	Viande hachée (25 g)	0 à 5 %	0 à 9 %
Porcs	Carcasses (600 cm^2)	20 à 34 %	9 à 26 %
	Foies (700 cm^2)	24 à 41 %	17 à 41 %
	Découpe (25 g)	13 à 33 %	0 à 13 %
	Viande hachée (25 g)	15 à 31 %	0 à 12 %
Poulets	Carcasses (25 g)	37 à 55 %	62 à 79 %
	Foies (25 g)	40 à 59 %	52 à 70 %
	Découpe (25 g)	20 à 36 %	73 à 87 %
Poules	Carcasses (25 g)	81 à 93 %	85 à 96 %
Dindes	Carcasses (25 g)	2 à 11 %	64 à 80 %
Lapins	Carcasses (400 cm^2)	1 à 7 %	1 à 9 %

Tableau 4. Prévalence des *Escherichia coli* O157 entérohémorragiques (EHEC O157) sur les carcasses et dans la viande hachée de bœuf en Belgique. (19)

Origine des échantillon	Échantillons	ombre d'échantil	Année	Proportion de positifs
Carcasses	400 cm^2	6200	1998	0,2 %
	1600 cm^2	1984	1999	1,3 %
	1600 cm^2	1501	2000	0,5 %
	1600 cm^2	1388	2001	0,9 %
Viande hachée	25 g	60	1997	0,0 %
	25 g	974	1999	0,1 %
	25 g	487	2000	0,2 %
	25 g	298	2001	0,0 %

Tableau 5. Principaux sérotypes des *Salmonella enterica* isolées en Belgique selon leur origine (n= nombre de souches sérotypées) (17, 20, 21).

Sérotype	Homme*	Animaux**			Aliments	Viande**			
		Volailles	Bovins	Porcs	pour animaux**	Boeuf	Porc	Poulet	Poule
	n=14088	n=890	n=71	n=482	n=118	n= 16	n=78	n=72	n=42
S. Enteritidis	67,5%	29%	1,4%	2,7%	3,4%	25%	4,4%	11,9%	85,7%
S. Typhimurium	19,9%	5,5%	57,7%	28,4%	2,5%	43,8%	42,6%	6%	0,0%
S. Hadar	1,3%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9%	0,0%
S. Brandenburg	2,3%	1,3%	0,0%	8,3%	1,7%	6,3%	11%	0,0%	0,0%
S. Infantis	0,9%	6,2%	1,4%	3,5%	1,7%	0,0%	5,1%	1,4%	0,0%
S. Derby	1,2%	0,6%	0,0%	14,3%	1,7%	6,3%	14,7%	2,1%	0,0%
S. Bovismorbificans	0,8%	0,2%	0,0%	3,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
S. Virchow	1,0%	15,5%	0,0%	0,8%	3,4%	0,0%	0,7%	13,4%	0,0%
Autres	5,1%	37,0%	39,5%	38,9%	85,6%	18,6%	22,2%	56,2%	14,3%

* Données 2000

** Données 2001

SALMONELLA

Si dans nos pays, les œufs et *Salmonella* Enteritidis sont probablement responsables d'une grande proportion des cas constatés, les viandes sont aussi fréquemment impliquées. La prévention de la contamination des viandes fraîches par *Salmonella* est difficile, chez le porc, à très difficile, pour la volaille, à maîtriser complètement si des animaux porteurs sont présentés à l'abattoir. Donc, si le maximum d'efforts doivent être consentis à l'abattoir et tout le long de la chaîne de transformation pour éviter les contaminations croisées et lors de la distribution et la consommation pour lutter contre la multiplication et les contaminations croisées, le problème ne sera réglé que lorsqu'il sera possible d'élever des animaux sans *Salmonella*. Il faut toutefois rappeler qu'une bonne cuisson détruit le germe et qu'en général la dose infectieuse est élevée.

CAMPYLOBACTER

Pour *Campylobacter*, il faut retenir que ce germe ne résiste pas bien au froid et à un environnement sec mais que sa dose infectieuse est faible. On trouve des *Campylobacter* sur toutes les viandes. Cependant, le niveau de contamination est faible excepté sur les viandes de volailles où des contaminations de l'ordre de 100 germes par gramme ne sont pas rares (résultats non montrés). Donc, il est probable que le risque principal soit lié à la manipulation ou à la consommation de ces denrées. La prévention de la contamination des viandes fraîches par *Campylobacter* est encore plus difficile que pour *Salmonella* si des animaux porteurs sont présentés à l'abattoir. Des travaux sont en cours mais ne sont pas encore en phase finale. Donc, le maximum d'efforts doit être consenti à l'abattoir, tout le long de la chaîne de transformation, de distribution et de consommation pour éviter les contaminations croisées et ensuite une bonne cuisson doit détruire le germe. Une information du consommateur devrait également être très utile.

E. COLI O157 ENTEROHEMORRAGIQUE

La prévention de la contamination humaine par ce type d'*E. coli* est actuellement surtout basée sur une hygiène irréprochable à l'abattoir de bovins, sur la cuisson suffisante des viandes de boeuf et surtout sur une information du consommateur, surtout vis-à-vis des populations à risque, les enfants et les vieillards.

DISCUSSION

Nous connaissons de mieux en mieux les risques liés à la consommation de viande fraîche. Certains risques biologiques diminuent comme la yersiniose ou la brucellose ; certains semblent augmenter, telles la salmonellose ou la campylobactériose ; enfin, certains émergent réellement, comme les syndromes hémolytiques et urémiques dus à *E. coli*, ou ont été récemment identifiés comme transmissibles par les aliments, comme la cryptosporidiose et la listériose. Ce tableau un peu sombre et les solutions qui semblent bien complexes à mettre en œuvre ne doit pas nous faire oublier que pratiquement tous ces agents microbiens, y compris les parasites tels les échinocoques et les larves de *Taenia*, sont détruits par une cuisson à cœur de quelques minutes au-delà de 70°C, barème qui correspond à l'arrêt d'écoulement de liquide sanguinolent. Il faut, en outre, éviter les contaminations croisées entre les viandes crues et les autres aliments via les mains ou les équipements de préparation des aliments. De bonnes pratiques d'hygiène culinaire au stade du consommateur peuvent donc réduire le risque biologique à un niveau très bas. Cette alternative devrait donner le temps à nos autorités et à nos entreprises de réduire drastiquement les risques jugés les moins tolérables par des actions ciblées tout au long de la filière de production des viandes. Cependant, il faudra toujours considérer la consommation de viande crue, comme un comportement à risque. Le tout est de le maintenir à un niveau compatible avec les possibilités de notre société et d'informer les populations les plus à risque.

REFERENCES

(1) Micro-organisms in food 6: microbial ecology of food commodities, ICMSF. 2000. pp 1-118, Ruth Bloom ed.

(2) Giovannacci, I., G. Ermel, G. Salvat, J.-L. Vendeuvre, M.N. Bellon-Fontaine. 2000. Physicochemical surface properties of five *Listeria monocytogenes* strains from a pork-processing environment in relation to serotypes, genotypes and growth temperature. J. Appl. Microbiol., 88:992-1000.

(3) Houf, K., A. Tutenel, L. de Zutter, J. van Hoof, P. Vandamme. 2000. Development of a multiplex PCR assay for the simultaneous detection and identification of *Arcobacter butzleri*, *Arcobacter cryaerophilus* and *Arcobacter skirrowii*. FEMS Microbiology Letters, 193:89-94.

(4) Villari P., M. Crispino, P. Montuori, S. Stanzione. 2000. Prevalence and molecular characterization of *Aeromonas spp.* in ready-to-eat foods in Italy. J. Food Prot., 63:1754-1757.

(5) Vinje, J. and M.P. Koopmans. 1996. Molecular detection and epidemiology of small round-structured viruses in outbreaks of gastroenteritis in the Netherlands. J.Infect.Dis. 174:610-615.

(6) Sugieda, M., H. Nagaoka, Y. Kakishima, T. Ohshita, S. Nakamura, and S. Nakajima. 1998. Detection of Norwalk-like virus genes in the caecum contents of pigs. Arch.Virol. 143:1215-1221.

(7) Liu, B.L., P.R. Lambden, H. Gunther, P. Otto, M. Elschner, and I.N. Clarke. 1999. Molecular characterization of a bovine enteric *Calicivirus*: relationship to the Norwalk-like viruses. J.Virol. 73:819-825.

(8) Dastjerdi, A.M., J. Green, C.I. Gallimore, D.W. Brown, and J.C. Bridger. 1999. The bovine Newbury agent-2 is genetically more closely related to human SRSVs than to animal caliciviruses. Virology 254:1-5.

(9) van Der Poel, W.H., J. Vinje, R. van Der Heide, M.I. Herrera, A. Vivo, and M.P. Koopmans. 1-1-0. Norwalk-like calicivirus genes in farm animals. Emerg.Infect.Dis. 6 :36-41.

(10) Sulaiman, I.M., L. Xiao, C. Yang, L. Escalante, A. Moore, C.B. Beard, M.J. Arrowood, and A.A. Lal 1998. Differentiating human from animal isolates of *Cryptosporidium parvum*. Emerg. Infect. Dis. 4:681-685.

(11) Guyot, K., A. Follet-Dumoulin, C. Recourt, E. Lelièvre, J.C. Cailliez, and E. Dei-Cas 2002. PCR-restriction fragment length polymorphism analysis of a diagnostic 452-base-pair DNA fragment discriminates between *Cryptosporidium parvum* and *C. meleagridis* and between *C. parvum* isolates of human and animal origin. Appl. Environ. Microbiol. 68:2071-2076.

(12) Armstrong, G.L., J. Hollingsworth, J.G. Morris 1996. Emerging foodborne pathogens: *Escherichia coli* O157:H7 as a model of entry of a new pathogen into the food supply of the developed world. Epidemiol. Reviews. 18:29-48.

(13) Anonymous. 2001. Trends and sources of zoonotic agents in animals, feedingstuffs, food and man in the European union and Norway in 1999, document n° SANCO/1069/2001 of the European Commission.

(14) Vellinga, A. and F. Van Loock 2002. The dioxin crisis as experiment to determine poultry-related *Campylobacter* enteritis. Emerg. Infect. Dis. 8:19-22.

(15) Tauxe R.V. 1997. Emerging Foodborne diseases: an evolving public health challenge. Emerg. Infect. Dis. 3:425-433.

(16) Ducoffre G. Surveillance des maladies infectieuses par un réseau de laboratoires de microbiologie 2000, ISP 2002.

(17) Ghafir Y., L. De Zutter, G. Daube et al. Evolution of *Salmonella* prevalence in foods from animal origin in Belgium, period 1997-2001. Septième conférence de microbiologie des aliments, Amphithéâtres de l'Europe, Université de Liège, 20-21 juin 2002.

(18) Ghafir Y., L. De Zutter, G. Daube et al. Evolution of *Campylobacter* prevalence in foods from animal origin in Belgium, period 1997-2001. Septième conférence de microbiologie des aliments, Amphithéâtres de l'Europe, Université de Liège, 20-21 juin 2002.

(19) Chahed A., Y. Ghafir, G. Daube et al. *Escherichia coli* O157 prevalence on beef carcasses and in bovine minced meat in Belgium. Septième conférence de microbiologie des aliments, Amphithéâtres de l'Europe, Université de Liège, 20-21 juin 2002.

(20) Imberechts H. *Salmonella* serotypes analysed at the VAR in 2001, report of the Belgian reference laboratory for *Salmonella*, animal health.

(21) Wybo E., Relevé des souches de *Salmonella* et *Shigella* isolées en Belgique en 2001, ISP 2002.

L'ESB EN FRANCE
SYNTHESE SUR L'EVOLUTION DE L'EPIDEMIE A PARTIR DES DONNEES DISPONIBLES AU 1ER OCTOBRE 2002

Didier CALAVAS[1], Christian DUCROT[2]

[1] AFSSA Lyon, 31 av. T. Garnier, F69364 Lyon cedex 07, France, d.calavas@lyon.afssa.fr
[2] INRA Theix, F63122 Saint Genès Champanelle, France, christian.ducrot@clermont.inra.fr

La surveillance épidémiologique de l'ESB a été mise en œuvre en France depuis décembre 1990. Elle a été progressivement renforcée au cours du temps. De fin 1990 à juin 2000, la détection des cas d'ESB a été fondée quasiment uniquement sur la détection clinique des animaux suspects. Des programmes de surveillance active, fondés sur la réalisation systématique de tests dans des populations ou échantillons de populations définis, ont alors été mis en place, dans un premier temps de manière expérimentale, puis ont été généralisés en plusieurs étapes à la population des bovins de 24 mois et plus, morts ou abattus.

Aussi l'analyse de la situation épidémiologique de la France vis-à-vis de l'ESB ne peut se faire qu'à l'aune des systèmes de surveillance mis en œuvre depuis 1990, de leurs domaines et périodes d'application, et de leur efficacité. L'accent est mis dans cette synthèse sur les données et analyses permettant de se faire une opinion sur l'évolution de l'épidémie d'ESB depuis l'apparition de la maladie en France, et notamment depuis la mise en place de mesures réglementaires nouvelles en 1996.

1 - Epidémiosurveillance de l'ESB

1.1. Les moyens de surveillance successivement mis en œuvre

Le réseau de surveillance clinique de l'ESB est opérationnel depuis fin 1990 (1). Il s'agit d'un réseau de type passif, qui est fondé sur la surveillance de l'ensemble de la population bovine adulte (plus de deux ans) sur la base de critères cliniques, épidémiologiques et anamnestiques. Les suspicions sont portées en ferme ou lors de l'inspection ante mortem en abattoir. Ce réseau a fait l'objet d'une définition précise : critères de suspicion, rôle des différents acteurs, circuits des prélèvements et des informations, modalités de prélèvement et d'analyse, etc. Au niveau départemental, un vétérinaire coordonnateur joue un rôle d'interface entre les vétérinaires sanitaires et la Direction départementale des services vétérinaires. Lors du démarrage du réseau, des réunions ont été organisées pour expliquer le fonctionnement du réseau aux services vétérinaires et aux vétérinaires coordonnateurs, et les sensibiliser à la maladie, ces réunions devant être ensuite relayées au niveau départemental.

Des mesures de surveillance complémentaires ont été mises en œuvre entre 1998 et 2000 pour certaines catégories d'animaux. Ces mesures n'ont cependant concerné que quelques centaines d'animaux : analyse systématique des bovins ayant fait l'objet d'une suspicion de rage (respectivement 29, 34 et 16 analyses en 1998, 1999 et 2000) ; surveillance accrue des animaux abattus d'urgence (123 analyses entre mai 1999 et septembre 2000) ; bovins importés vivants du Portugal et de Suisse (36 analyses) ; bovins abattus présentant un syndrome de pathologie progressive ou d'amaigrissement (109 analyses) (2). Enfin, un réseau expérimental fondé sur des vétérinaires sentinelles a été mis en place début 2000, et reconduit depuis, pour estimer l'incidence et la typologie des maladies à expression neurologique chez les bovins adultes (réseau pilote NBA), afin de mettre l'ESB en perspective dans le contexte général de ces maladies (3).

Avec le développement de nouveaux tests diagnostiques, utilisables relativement aisément à large échelle (4), des programmes de surveillance active ont pu voir le jour. Un programme pilote de surveillance active de l'ESB a ainsi été réalisé dans le Grand Ouest (Basse Normandie, Bretagne et Pays de la Loire) entre juin 2000 et mars 2001. Plus de 49 000 bovins dits à risque (animaux de 24 mois et plus, morts en ferme, euthanasiés ou abattus d'urgence pour accident) ont été inclus dans ce programme (5, 6). Entre novembre et décembre 2000, un programme complémentaire au programme pilote Grand Ouest a été réalisé par sondage sur plus de 9 000 animaux dans le reste de la France sur les mêmes catégories d'animaux (7).

La crise de mars 2000, dans un contexte où il était désormais envisageable de tester les bovins de manière systématique, a conduit la communauté européenne à recommander la réalisation d'un test pour tout bovin de plus de 30 mois abattu pour la consommation humaine. Ainsi en France depuis le 1er janvier 2001, tous les bovins de plus de 30 mois (âge abaissé à 24 mois depuis le 1er juillet 2001) destinés à la consommation sont testés (8). Cependant, afin de soutenir le marché qui s'était effondré à la suite de la crise de mars 2000, près de 180 000 bovins ont été retirés de la consommation entre janvier et juin 2001, et détruits sans qu'un test ait été réalisé.
Enfin, depuis le 18 juin 2001, l'ESB doit être systématiquement dépistée au plan national chez les bovins à risque (9). Cette mesure qui répond également à une recommandation européenne a tout d'abord été prise pour un an, puis reconduite pour une année.

1.2. Efficacité de la surveillance clinique

L'efficacité d'un réseau de surveillance clinique est dépendante de tout un ensemble de facteurs techniques, économiques et sociologiques qui affectent l'exhaustivité de l'identification des suspicions et de leur déclaration. Il est ainsi probable que le degré de sensibilisation et la vigilance des acteurs de terrain vis-à-vis de l'ESB a varié dans le temps, en fonction des connaissances nouvelles sur le risque de transmission à l'homme, du nombre de cas dépistés en France, du relais médiatique qui en a été fait, et de la mise en œuvre en 2000 des premiers programmes de surveillance active.

Le nombre de suspicions négatives rapportées au réseau a été très faible entre 1990 à 1999 (en moyenne 10 suspicions négatives par million d'animaux et par an, soit 10 fois moins que les recommandations européennes) ; ce nombre a augmenté de manière considérable en 2000, puis est redescendu mi 2001 entre 2 et 3 suspicions négatives par million d'animaux et par mois.

Il existe une hétérogénéité apparente de la surveillance clinique selon les départements, quand on prend comme indicateur de la surveillance la proportion de suspicions négatives rapportée à la population bovine. La première cause de cette hétérogénéité de la surveillance clinique est l'hétérogénéité de la répartition géographique des différents types de production, liée au fait que les animaux de type laitier sont plus fréquemment sujets à des maladies dont la symptomatologie peut être confondue avec l'ESB par rapport aux animaux de type allaitant (G. Cazeau, D. Calavas, données issues du réseau pilote NBA). Cela étant, une fois pris en compte ces facteurs de confusion, il existe une hétérogénéité réelle de la surveillance clinique selon les départements (10).

L'analyse du réseau clinique et des programmes de surveillance active en équarrissage a mis en évidence un effet de vases communicants entre ces deux systèmes (11). L'évaluation rétrospective du statut clinique des animaux à risque (12) indique que la très grande majorité de ces animaux présentaient des signes cliniques d'ESB avant leur mort ou leur euthanasie. Cela autorise à analyser conjointement ces deux programmes, ce qui permet d'estimer une prévalence à la mort pour les bovins de 24 mois et plus.

L'évaluation rétrospective du statut clinique des animaux trouvés positifs en abattoir indique par ailleurs que quelques uns au moins de ces animaux étaient vraisemblablement au stade clinique de la maladie. Cette constatation souligne les limites de l'inspection antemortem pour une maladie dont le tableau clinique est parfois fruste, nécessitant une observation dans la durée, incompatible avec les conditions de réalisation de l'inspection antemortem.

1.3. Qualité de la surveillance active

L'apport des programmes de surveillance active en terme d'évaluation de la situation épidémiologique dépend de la qualité avec laquelle ces programmes sont réalisés : contrôle de l'exhaustivité pour les programmes devant tester l'ensemble des animaux, pertinence et respect du plan de sondage pour les programmes sur échantillon.
Dans le cadre du programme pilote dans le Grand Ouest, l'exhaustivité a été contrôlée tout au long du programme. Elle a été jugée excellente entre août et décembre 2000.
En ce qui concerne la surveillance systématique des animaux à risque instaurée en juin 2001, les moyens de contrôler l'exhaustivité n'ont pas été mis en place. Au vu du nombre d'animaux inclus mensuellement, on peut cependant considérer que le niveau d'exhaustivité des prélèvements a été bon à partir d'août 2001.
Pour le programme de test à l'abattoir, les mesures de retrait/destruction mises en œuvre au cours du premier semestre 2001 a entraîné une sous estimation non quantifiable de la prévalence de l'ESB chez les animaux

destinés à la consommation (13). L'estimation de la prévalence de l'ESB chez les animaux de 24 mois et plus destinés à la consommation humaine ne peut donc être valablement faite qu'à partir du second semestre 2001.

*****

Ainsi, on peut considérer qu'à partir du second semestre 2001, l'ensemble des bovins de 24 mois et plus sont testés en France vis-à-vis de l'ESB lors de leur mort, ou à l'occasion de leur abattage. Cela permet d'avoir une estimation de la prévalence réelle de la maladie depuis cette date, et de faire une première analyse, avec maintenant un an de recul et à partir de données très précises, de la tendance de l'épidémie.

2 – Données épidémiologiques

Au 1er septembre 2002, 699 cas d'ESB avaient été détectés en France par les différents systèmes de surveillance (14).

Tableau : Distribution annuelle du nombre de cas d'ESB, en fonction du programme de surveillance (au 1er septembre 2002)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
Réseau clinique	5	0	1	4	3	12	6	18	28	99	89	34	**299**
Mesures de surveillance complémentaires 1998-2000								0	3	3			**6**
Programme pilote juin 2000-mars 2001 Grand Ouest										55	15		**70**
Programme équarrissage nov-déc 2000 hors Grand Ouest										6			**6**
Programme de dépistage systématique en abattoir											84	52	**136**
Programme de dépistage systématique en équarrissage											86	96	**182**
TOTAL	**5**	**0**	**1**	**4**	**3**	**12**	**6**	**18**	**31**	**163**	**274**	**182**	**699**

L'augmentation considérable du nombre de cas détectés à partir de 2000 s'explique essentiellement par le nombre d'animaux testés. En effet, de 1990 à 1999, soit sur une période de dix ans, 326 animaux seulement avaient été analysés dans le cadre du réseau clinique, et environ 400 animaux l'avaient été dans le cadre des mesures de surveillance complémentaire.

Ceci est à comparer aux nombres d'animaux inclus dans les programmes de surveillance active : plus de 49 000 pour le programme pilote Grand Ouest, plus de 9 000 pour le programme complémentaire en équarrissage hors Grand Ouest, 122 782 pour le programme de dépistage systématique en équarrissage entre le 18 juin et le 31 décembre 2001, 2 352 287 pour le programme de dépistage systématique à l'abattoir entre le 1er janvier et le 31 décembre 2001.

Depuis juin 2001, la mise en œuvre conjointe du réseau clinique et du dépistage systématique en équarrissage et à l'abattoir permet de comparer la prévalence de l'ESB entre les animaux à risque (en cumulant les données du réseau clinique et du dépistage en équarrissage) d'une part, et les animaux destinés à la consommation humaine d'autre part. Ainsi sur une période d'un an, entre le 1er septembre 2001 et le 31 août 2002, 206 cas ont été détectés parmi les animaux à risque sur 262 912 animaux testés, soit une prévalence de 783 par million, alors que 96 cas étaient détectés en abattoir sur 2 821 486 animaux testés, soit une prévalence de 34 par million. Pour cette période, la prévalence était 23 fois plus élevée pour les animaux à risque par rapport aux animaux abattus.

3 - Analyse de la situation épidémiologique

3.1. Schéma de l'épidémie entre 1990 et 2000

Pour la période de 1990 à 2000, en l'absence d'une mesure objective de l'incidence, on doit recourir à la modélisation mathématique pour estimer le schéma de l'épidémie (15-18). Cette approche est entachée d'une forte incertitude, en particulier en ce qui concerne les premières années de l'épidémie, car elle est fondée sur le faible nombre de cas détectés par le réseau clinique au cours de cette période (19). De plus les modèles réalisés ne prennent pas en compte l'hétérogénéité de la surveillance au plan géographique et vis-à-vis du type de production (20), ce qui pourrait en augmenter l'incertitude.

Les modèles réalisés convergent sur le fait qu'un nombre important d'animaux (quelques centaines à quelques dizaines de milliers selon les hypothèses des modèles) ont été infectés au cours des années 1980, notamment au cours des années 1988 et 1989, conduisant à une vague de cas cliniques non détectée au milieu des années 1990. Une seconde vague de cas concerne des animaux nés entre 1992 et 1996. Selon les résultats des modèles, cette seconde vague est de bien moindre ampleur que la première en terme de nombre de cas réels, alors que le nombre de cas détectés est considérablement plus important pour les animaux nés entre 1992 et 1996 par rapport aux animaux nés auparavant, en raison de la généralisation du dépistage.

Le recyclage des cas non détectés de la première vague (les matériaux à risque spécifié (MRS) et les cadavres étaient légalement réincorporés aux farines de viande et d'os jusqu'en 1996) explique vraisemblablement la seconde vague de cas nés après l'interdiction des farines de viande et d'os chez les bovins (NAIF). L'origine de la contamination des cas NAIF est en cours d'investigation[1] : contaminations croisées par des aliments destinés à des animaux monogastriques, et/ou rôle des graisses animales et des phosphates bicalciques précipités d'os.

L'analyse de la tendance de la prévalence de l'ESB a pu être réalisée à partir d'une comparaison de la prévalence à la mort dans le Grand Ouest entre 2000 et 2001, pour les bovins prélevés entre août et décembre (21). Pour analyser l'évolution de l'exposition des bovins nés avant les mesures de 1996, les animaux nés entre juillet 1995 et juin 1996 analysés en 2001 ont été comparés à ceux nés entre juillet 1994 et juin 1995 analysés en 2000 (animaux âgés de cinq à six ans au moment du test). Cette analyse indique que le risque a environ été divisé par deux et demi entre ces deux périodes. Ces constatations vont dans le sens d'une diminution de l'exposition des bovins à l'agent de l'ESB, dès l'année précédant les mesures de 1996 de retrait des MRS et des cadavres de la fabrication des farines de viande et d'os. Cette estimation est confortée par les modèles mathématiques qui vont dans le sens d'une diminution du nombre d'animaux infectés précédant les mesures de 1996.

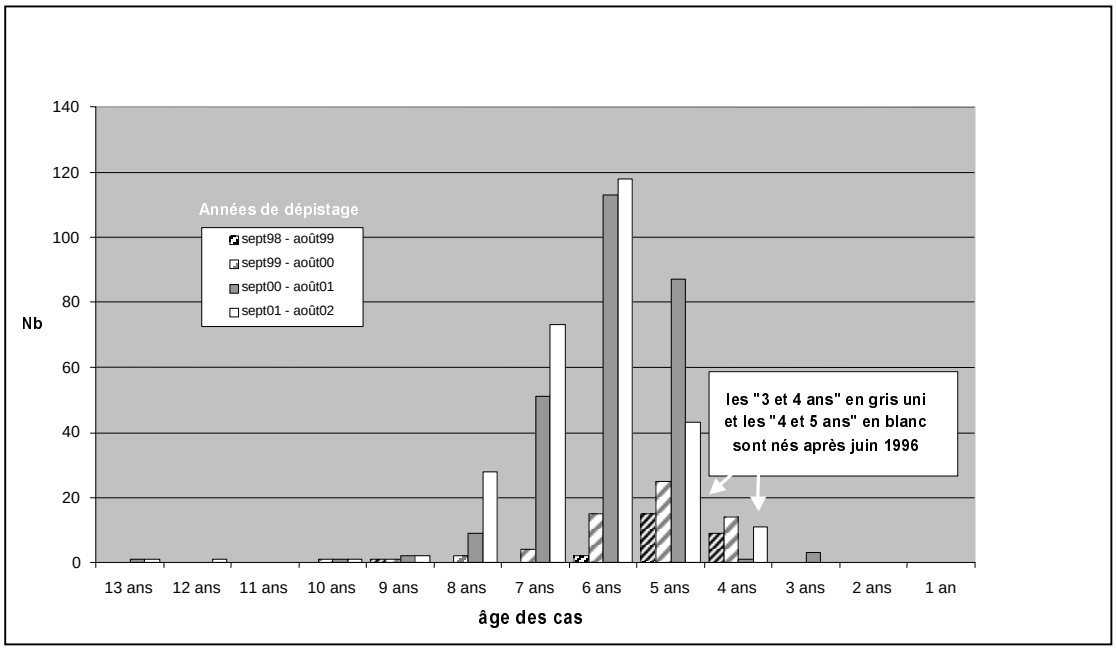
Il existe une hétérogénéité apparente de la prévalence de l'ESB entre régions. Cependant, une première analyse qui demande à être approfondie montre que la répartition des cas dépistés est très différente en fonction des systèmes de dépistage d'une région à l'autre (surveillance clinique, détection en équarrissage et en abattoir). Analyser les données concernant les animaux testés en abattoir indépendamment des autres modes de dépistage pourrait conduire à des résultats biaisés en ce qui concerne les différences de taux de prévalence ESB entre régions (13). Des phénomènes de vases communicants ont en effet déjà été mis en évidence entre deux de ces systèmes de surveillance lors du programme pilote Grand Ouest. Il convient d'étudier si ce phénomène peut se produire également avec la catégorie des animaux abattus.

3.2. Efficacité des mesures de contrôle de 1996

Les modèles tendent à mettre en évidence l'efficacité des mesures de contrôle de 1996, mais l'incertitude des estimations est relativement grande, en raison d'un recul encore insuffisant.
L'analyse de la tendance de la prévalence de l'ESB à la mort dans le Grand Ouest indique que le risque a environ été divisé par cinq pour les animaux nés entre juillet 1996 et juin 1997 analysés en 2001, par rapport à ceux nés entre juillet 1995 et juin 1996 analysés en 2000 (animaux âgés de quatre à cinq ans au moment du test). Ce résultat reflète une diminution importante de l'exposition entre les animaux nés l'année précédant les mesures de 1996, et ceux nés l'année après ces mesures, ce qui est illustré sur la Figure ci dessous ; le nombre de cas d'animaux atteints nés après août 1996 est en forte baisse par rapport au nombre de cas auquel on pourrait s'attendre si la contamination avait persisté, cela en tenant compte de l'amélioration du dispositif de surveillance datant de mi 2000. Les mesures de 1996 semblent donc avoir été efficaces, mais l'estimation du niveau de leur efficacité est encore imprécis.
En tout état de cause, cette efficacité n'a pas été absolue puisqu'au 25 septembre 2002, 34 cas nés après ces mesures avaient été détectés (19 cas nés au cours du second semestre 1996, 11 cas nés en 1997, 4 cas nés en 1998). Ces cas peuvent être dus à une compliance incomplète par rapport aux nouvelles mesures réglementaires de 1996, à une exposition à des produits contaminés importés, ou à des produits contaminés encore légalement utilisés dans l'alimentation des bovins.

[1] Etude épidémiologique du rôle des aliments du commerce dans la contamination des bovins NAIF atteints d'ESB - Approche à l'échelle de l'exploitation agricole (étude cas-témoins) et de la région d'élevage (étude écologique et modélisation statistique spatio-temporelle), Projet AFSSA-INRA-DGAl, Programme de recherche dans le cadre du GIS *Infections à prions*.

Figure : Age des cas d'ESB au moment du dépistage de la maladie, en fonction de l'année de dépistage (saisons 1998-1999, 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002)



3.3. Tendance ultérieure de l'épidémie

La tendance ultérieure de l'épidémie dépend : i) de l'efficacité des mesures prises en 1996, pour lesquelles on n'a pas de données sur le niveau d'application, ni sur le calendrier de mise en œuvre ; ii) du rôle éventuel d'autres types de produits encore autorisés après 1996, tels que les graisses animales et les phosphates bicalciques précipités d'os ; iii) de l'effet des mesures d'interdiction totale des farines de viande et d'os et de certaines graisses animales dans l'alimentation de tous les animaux d'élevage prises en novembre 2000.
Une réévaluation de la tendance de l'épidémie pourra être réalisée à la fin de 2002, pour le Grand Ouest avec trois périodes d'observation comparables (périodes août-décembre 2000, 2001 et 2002), et pour le reste de la France avec deux périodes d'observation comparables (périodes août-décembre 2001 et 2002). Cela permettra d'affiner l'évaluation de l'efficacité des mesures de 1996, et d'avoir une estimation plus précise de l'évolution de la prévalence après 1996.
Il conviendra également de réactualiser les modèles avec les données les plus récentes, et de les raffiner en prenant en compte les données de la surveillance active.
Il sera par ailleurs indispensable de rechercher l'origine des cas nés après les mesures de 1996, selon un cadre méthodologique rigoureux.

Références

1. Savey, M., Belli, P., and Coudert, M., *Le réseau d'épidémiosurveillance de la BSE en France : principes — premiers résultats.* Epidémiologie et Santé Animale, 1991; 19: 49-61.
2. Calavas, D., Coudert, M., Ducrot, C., and Savey, M., *Surveillance et épidémiologie de l'ESB en France situation au 27 novembre 2000.* Bulletin des GTV, 2000; 9: 187-191.
3. Calavas, D., Desjouis, G., Collin, E., Schelcher, F., Philippe, S., and Savey, M., *Incidence et typologie des maladies des bovins adultes à expression nerveuse en France. Le réseau pilote NBA.* Epidémiologie et Santé Animale, 2001; 39: 121-129.
4. Madec, J.-Y. and Baron, T., *De nouveaux tests pour détecter les prions.* Bulletin des GTV, 2000(6): 15-18.
5. Calavas, D., Ducrot, C., Baron, T., *et al.*, *Prevalence of BSE in western France by screening cattle at risk: preliminary results of a pilot study.* The Veterinary Record, 2001; 149(2): 55-56.
6. Morignat, E., Ducrot, C., Roy, P., *et al.*, *Targeted surveillance to assess the prevalence of BSE in high risk populations in western France and associated risk factors.* The Veterinary Record, 2002; 151: 73-77.

7. Calavas, D., Morignat, E., and Ducrot, C., *Programmes de surveillance active de l'ESB dans trois catégories de bovins à risque - Analyse des résultats.* 2001(12 pp): http://www.afssa.fr/ftp/basedoc/syntheseresultatsesb.pdf.
8. Ducrot, C., Maillot, M., Calavas, D., and Morignat, E., *Analyse du programme de recherche de l'ESB en abattoir pour l'année 2001*, . 2002, Rapport INRA-AFSSA, 28 Juin 2002. 42pp.
9. Calavas, D., Morignat, E., and Ducrot, C., *Analyse du programme de recherche de l'ESB en équarrissage pour l'année 2001*, 2002, Rapport AFSSA-INRA, 26 Juin 2002. 20pp.
10. Cuenot, M., Calavas, D., Cazeau, G., and Ducrot, C., *Temporal and spatial patterns of the clinical surveillance of BSE in France, analysed from January 1991 to May 2002 through a vigilance index.* 2002: submitted.
11. Morignat, E., Vinard, J.-L., Calavas, D., and Ducrot, C., *Données relatives aux programmes de surveillance active de l'ESB - Rapport d'analyse statistique.* 2001, (64pp): http://www.afssa.fr/ftp/basedoc/annexe1esb30mai.pdf.
12. Calavas, D. and Ducrot, C., *Enquête clinique rétrospective concernant les bovins positifs - Rapport d'analyse.* 2001, (72 pp): http://www.afssa.fr/ftp/basedoc/annexe2esb30mai.pdf.
13. Ducrot, C., Maillot, M., Morignat, E., Gasqui, P., Buquet, B., and Calavas, D. *Que nous ont appris les tests réalisés en abattoir depuis janvier 2001 sur la situation épidémiologique de l'ESB en France ?* in *9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande*. 2002. Le Pôle Viande Clermont-Ferrand / Auvergne - 15 et 16 Octobre 2002.
14. AFSSA Lyon, *Epidémiosurveillance de l'ESB en France - Tableau de bord au 01/09/02.* 2002, (28pp): http://www.afssa.fr/ftp/basedoc/TBseptembre2002.pdf.
15. Cohen, C.H. and Calavas, D. *Analyse des variations temporelles de l'incidence de l'ESB en France*. in *Journées scientifiques de l' AFSSA*. 2002. Maisons-Alfort, 27-28 mars 2002.
16. Donnelly, C.A., *Likely size of the French BSE epidemic.* Nature, 2000; 408: 787-788.
17. Donnelly, C.A., *BSE in France: epidemiological analysis and predictions.* C. R. Biologies, 2002; 325: 1-14.
18. Supervie, V., *Modélisation de l'épidémie d'encéphalopathie spongiforme bovine en France - Une approche par rétrocalcul*, 2002, Université Paris V - DEA de Santé Publique - Option biostatistique. 42pp.
19. Cohen, C., Calavas, D., Ducrot, C., Heim, D., Gerbier, G., and Stärk, K., *The new French paradox of Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE): an underestimated epidemic.* 2002: submitted.
20. Ducrot, C., Roy, P., Morignat, E., Baron, T., and Calavas, D., *How the surveillance system may bias the results of analytical epidemiological studies on BSE: prevalence among dairy versus beef suckler cattle breeds in France.* Veterinry Research, 2002: submitted.
21. Calavas, D., Morignat, E., and Ducrot, C., *Analyse de la tendance de la prévalence de l'ESB dans le Grand Ouest entre 2000 et 2001*, 2002, Rapport AFSSA-INRA, 26 Juin 2002. 14pp.

Sécurité alimentaire

Animateurs : J-P. FRENCIA (ADIV)
et J. LABADIE (INRA – Clermont –Fd)

Communications orales

LES *ESCHERICHIA COLI* VEROTOXIQUES ET *E. COLI* O157 :H7 : DES PATHOGENES EMERGENTS DANS L'ALIMENTATION

DR C. VERNOZY-ROZAND
Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon - 1 Avenue Bourgelat- BP 83
69280 Marcy L'Etoile(France)

DEFINITION

Les souches dites VTEC (verotoxin-producing *E. coli*) sont toutes les souches d'*Escherichia coli* ayant le gène *stx* codant les verotoxines Les souches isolées chez les malades sont appelées EHEC (enterohemorrhagic *E. coli*).

CLINIQUE

Au cours des années 1980, les EHEC et plus particulièrement le sérotype O157:H7 sont devenus des pathogènes émergents responsables à la fois de cas sporadiques et de cas épidémiques de diarrhées souvent sanglantes pouvant évoluer vers des pathologies plus graves comme le syndrome hémolytique et urémique (SHU) et le purpura thrombotique thrombocytopénique (PTT). La grande majorité des épidémies sont dues au sérotype O157 :H7. D'autres sérotypes ont été incriminés dont O111 et dans une moindre mesure : O26 et O103, *etc*. Au niveau mondial, il existe une variation saisonnière marquée de l'infection, les épidémies les plus nombreuses sont intervenues l'été et au début de l'automne. Les enfants de moins de 5 ans et les personnes âgées de plus de 65 ans sont les classes d'âges les plus touchées.

PORTAGE SAIN CHEZ LES ANIMAUX

Les animaux, excepté le porc, ne développent aucune pathologie liée aux EHEC. Mais les ruminants et notamment les bovins sont considérés à l'heure actuelle comme le réservoir principal d'EHEC. Néanmoins, ces bactéries ont été retrouvées dans l'intestin de nombreuses autres espèces animales (porcs, volailles, chiens, chats, mouettes, cerfs.…). Le portage sain chez les bovins est très variable; 5 à 20% des animaux seraient porteurs sains. Le portage est plus important chez les animaux jeunes (veaux après sevrage, jeunes bovins de boucherie) que chez les animaux âgés.
Le portage dépend de plusieurs facteurs dont le principal semble être la conduite alimentaire du troupeau (importance d'un sevrage brutal, modification de la teneur protéique de la ration…).
Les études concernant l'influence de l'alimentation animale sur la présence des VTEC en élevage concernent seulement les bovins. Aux USA, les conclusions semblent aller dans le sens d'un plus grand nombre de VTEC et d'une plus grande acido-résistance des VTEC chez les bovins nourris avec des céréales, par opposition à ceux ayant une alimentation fourragère. En Australie, les travaux réalisés présentent des résultats parfois contradictoires avec ceux évoqués précédemment. Dans certains cas, les veaux au sevrage sont décrits comme étant les principaux réservoirs de VTEC dans les exploitations laitières, alors que pour des animaux à l'engrais, les fluctuations observées concernant l'excrétion de ces bactéries ne semblent pas liées aux changements alimentaires.

Une étude américaine portant sur les pratiques d'élevage et la gestion des fumiers estime que des méthodes concernant ces deux points peuvent réduire les risques d'exposition des animaux et des personnes vis-à-vis du risque représenté par les *E. coli* O157 : H7. De nombreuses études sont en cours pour déterminer quelles sont les pratiques d'élevage à risque. Des hypothèses sont avancées mais aucun consensus scientifique n'est à ce jour obtenu.
En Australie, des études menées sur un lot de bovins en engraissement ont montré la contamination intermittente des abreuvoirs et des sols par les VTEC . De plus, des isolats communs aux animaux et à l'environnement d'élevage ont été obtenus, les profils observés en PGFE ayant montré une spécificité vis-à-vis des exploitations concernées.
En Grande Bretagne, l'importance de la contamination hydrique est connue pour les rivières et lacs en relation avec des pâtures ou des sols fertilisés par les fumiers, ainsi que la résistance du sérogroupe O 157 au stress lié à l'environnement . Des études statistiques font également ressortir l'environnement des élevages comme un fort facteur de risque pour l'infection humaine et un portage sain important des animaux.

TRANSMISSION A L'HOMME

Le nombre de bactéries nécessaires pour produire l'infection semble être bas mais la relation dose-réponse n'est pas réellement connue.

La plus grande épidémie à *E. coli* O157:H7 est survenue en janvier 1993 dans l'Etat de Washington. Quelques cas ont également été mis en évidence dans le Nevada, en Californie et en Idaho. Tous ces accidents étaient rattachés à une même origine alimentaire, des hamburgers commercialisés par des restaurants appartenant à une même chaîne de restauration rapide. Au total, 732 personnes ont été infectées. Parmi elles, 195 ont été hospitalisées et 55 ont développé un SHU ou un TTP ; il y eut 4 morts. L'âge moyen des malades était de 7 ans et demi. Depuis lors, d'autres épidémies à *E. coli* O157:H7 sont apparues aux Etats Unis et ont mis également en cause des steaks hachés de boeuf insuffisamment cuits.

Chapman *et al.,* (1993) ont réalisé l'examen bactériologique de morceaux de viande prélevés à la surface des carcasses d'animaux de Sheffield afin de vérifier si cet organisme avait été introduit dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire de carcasses contaminées provenant elles-mêmes d'animaux porteurs. *E. coli* O157:H7 a pu être isolé sur 30,4 % des carcasses d'animaux chez lesquels la bactérie avait antérieurement été isolée du contenu fécal. D'autre part, *E. coli* O157:H7 a également été mis en évidence chez 8 % des carcasses d'animaux non excrèteurs de la bactérie, mais côtoyant sur la chaîne d'abattage des carcasses contaminées. Ceci pourrait s'expliquer soit par une contamination croisée sur la chaîne d'abattage pendant le travail sur les carcasses, soit par le fait que les animaux qualifiés de non porteurs sains excrétaient en fait de très faibles quantités d'*Escherichia coli* O157:H7 dans leurs fèces, rendant impossible leur détection

Une pré-étude française a été conduite en abattoir pour évaluer le portage des *Escherichia coli* entérohémorragiques du sérotype O157:H7 par les bovins et leurs possibilités de diffusion vers les produits alimentaires issus des filières "viandes bovines" (Andral *et al*., 1999). *E. coli* O157:H7 a été recherché sur les oreilles des animaux abattus et sur certaines surfaces et matériels des abattoirs. Bien que cette pré-étude ait été surtout entreprise pour valider les méthodes de prélèvement et les techniques bactériologiques mises en oeuvre, les résultats obtenus donnent certaines indications sur la fréquence du portage et de la diffusion de *E. coli* O157:H7 en abattoir :

- sur 85 bovins adultes testés grâce aux prélèvements d'oreilles, 21 étaient porteurs de *E. coli* O157. Les souches de *E. coli* O157 possédant l'antigène flagellaire H7 étaient au nombre de 3 (soit 4 % des bovins testés). En ce qui concerne les veaux, le nombre de souches *E. coli* O157 isolées est plus faible (4 souches sur 75 prélèvements), et une seule d'entre elle possèdant l'antigène flagellaire H7.

-les résultats des chiffonnages réalisés sur le matériel et les surfaces indiquent que la possibilité d'une diffusion de ces souches pathogènes grâce à la contamination du matériel est possible en abattoir. En effet, 7 prélèvements sur les 50 réalisés ont permis l'isolement d' E. coli O157, dont 4 possédant l'antigène H7.

Ainsi, sur un total de 210 prélèvements (85 bovins adultes, 75 veaux, 50 prélèvements "surfaces et matériel"), 32 souches d'*E. coli* O157 ont été isolées, 21 provenant des bovins, 4 des veaux, 7 des prélèvements "surfaces et matériel". Parmi elles, 8 sont des souches du sérotype O157:H7, toutes verotoxinogènes.

Ces résultats suggèrent l'intérêt de la mise en oeuvre de mesures d'hygiène préventives rigoureuses lors de l'abattage.

D'une manière générale, les trois principales voies de contamination sont l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés, la transmission oro-fécale de personne à personne et le contact direct avec les animaux (notamment les bovins). Aux Etats-Unis, depuis les 5 dernières années, les différents modes de transmission se répartissent comme suit : alimentaire 66%, interhumaine 20%, par l'eau de boisson 8%, lors de baignades 4% et par contact direct avec les bovins 2% .
La contamination des aliments est essentiellement indirecte (par les fèces) et concerne avant tout, les produits d'origine animale avec en premier lieu les steaks hachés de bœuf insuffisamment cuits et les produits laitiers (le lait cru et les fromages au lait cru). Mais les produits d'origine non animale contaminés par les matières fécales sont de plus en plus souvent incriminés : cidre artisanal de pommes, laitues, pommes de terre, pousses de radis, *etc*. D'autre part, le milieu extérieur représente une source importante, notamment avec l'eau (baignade en lac ou pataugeoire contaminée par de la matière fécale d'origine humaine, ou eau de boisson insuffisamment chlorée), l'herbe contaminée, *etc.* La survie dans l'environnement est d'autre part importante (jusqu'à 10 mois dans le fumier et la matière fécale)
Un traitement thermique de type pasteurisation et les rayonnements ionisants (5 KGy) détruisent les VTEC

DETECTION

Chez l'homme, 93 % des souches d'*E. coli* isolées fermentent le sorbitol en moins de 24 heures. En revanche, *E. coli* O157:H7 se caractérise par une absence de fermentation du sorbitol, ou par une fermentation très lente de celui-ci, plus de 24 heures. *E. coli* O157 :H7 se distingue aussi par l'absence de production d'une enzyme commune à un très grand nombre de souches d'*E. coli* : la β-glucuronidase. Ces particularités biochimiques sont utilisées en diagnostic pour l'identification du sérovar O157 :H7. Les *Escherichia coli* entérohémorragiques (EHEC) non O157 :H7 n'ont par contre pas de particularités biochimiques communes permettant leur identification en routine.
De nombreuses méthodes immunologiques permettent de détecter *E. coli* O157:H7 dans l'aliment. Ces méthodes ne recherchent souvent que l'antigène somatique O157 et nécessitent une étape de confirmation après isolement et caractérisation biochimique et sérologique de la bactérie cible. En France, 2 méthodes sont validées AFNOR pour la détection de *E. coli* O157:H7 dans l'aliment. L'une utilise l'immuno-séparation magnétique (IMS - Dynal), l'autre l'automate VIDAS (bioMérieux).A l'étranger, d'autres méthodes ont reçu des validations nationales.

L'APPROCHE PROTEOMIQUE POUR MIEUX COMPRENDRE LA PHYSIOLOGIE DE L'ADAPTATION DES BACTERIES AUX ENVIRONNEMENTS AGRO-ALIMENTAIRES

M. HEBRAUD [1,2]

Station de Recherches sur la Viande – Microbiologie[1], Plate forme protéomique[2], INRA de Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

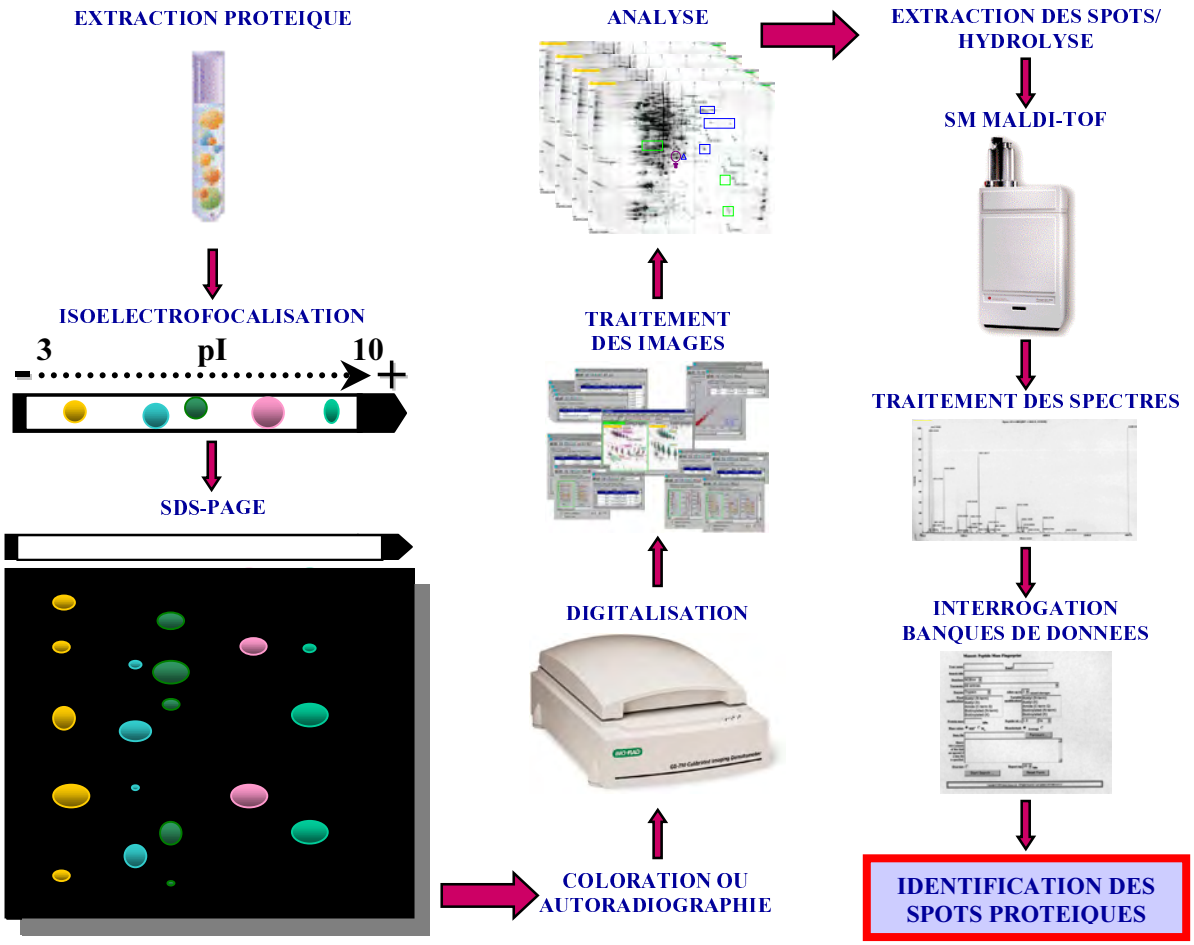
Le protéome est un concept récent qui désigne, par analogie avec le génome, l'ensemble des produits des gènes exprimés par un organisme vivant. L'analyse protéomique consiste en l'étude de l'expression protéique globale d'un organisme au niveau des tissus, des liquides physiologiques, des cellules ou même des compartiments cellulaires (noyaux, mitochondries, chloroplastes, etc…). Le séquençage des génomes donne accès au « dictionnaire » de l'ensemble des gènes qui constituent le patrimoine génétique d'un organisme. Les cellules de cet organisme expriment ces gènes sous forme de transcripts (ARNm) qui sont ensuite traduits en protéines. Les produits de ces deux étapes, ARNm et protéines, peuvent être qualitativement et quantitativement différents des les cellules selon leur nature, leur localisation, leur état physiologique et leur environnement. Ainsi, à l'information statique du génome viennent s'ajouter des vues dynamiques par l'étude du transcriptome (ARNm) et du protéome (protéines). Ces deux approches, transcriptome et protéome, concernent donc des entités moléculaires liées dans le fonctionnement cellulaire, mais dont les données qualitatives et quantitatives ne sont pas toujours corrélées. Elles fournissent en cela des informations complémentaires qui, lorsqu'elles vont jusqu'au fonctionnement et à la régulation d'une voie métabolique, d'une réponse physiologique ou à tout autre mécanisme cellulaire, constituent ce qu'il est convenu d'appeler aujourd'hui la biologie intégrative.

L'analyse protéomique constitue un outil de recherche apte à apporter une grande quantité d'informations très riches et très précises. Elle permet d'avoir une vision globale et dynamique du fonctionnement d'un organisme et des évènements qui surviennent au cours de divers processus cellulaires (différenciation, vieillissement, modifications pathologiques, action d'agents pharmacologiques ou de traitements, variations ou stress environnementaux…). L'analyse des protéines est le reflet global d'un état physiologique à un moment défini et il apparaît alors qu'un organisme ou une cellule peuvent avoir de très nombreux protéomes puisque l'ensemble des régulations cellulaires, et donc les variations qualitatives et quantitatives d'expression des protéines, sont prises en compte. Ainsi, les modifications post-traductionnelles (phosphorylations et glycosylations notamment), qui jouent un rôle important voire même essentiel dans la modulation de l'activité des protéines, peuvent être visualisées. Ceci donne à l'approche protéomique un intérêt considérable pour l'étude de mécanismes cellulaires au travers d'entités moléculaires, les protéines, qui sont finalement les vraies chevilles ouvrières de la cellule.

L'analyse protéomique comporte trois étapes principales qui font chacune appel à différentes technologies (Fig. 1). L'étape initiale est l'électrophorèse bidimensionnelle (EBD) en gel de polyacrylamide qui est la seule méthode actuellement disponible capable de séparer simultanément plusieurs centaines de protéines avec un très haut pouvoir de résolution. Elle fait intervenir deux séparations électrophorétiques successives selon des critères indépendants, le point isoélectrique (p*I*) puis la masse moléculaire (*M*r) des protéines. La deuxième étape comprend la mise en image, la digitalisation, le traitement et la comparaison des images des cartes protéiques que constituent les gels d'EBD. La dernière étape, essentielle, est l'identification des taches protéiques d'intérêt qui est aujourd'hui le plus généralement réalisée par des techniques de spectrométrie de masse. Les évolutions technologiques et méthodologiques de ces dernières années ont considérablement améliorées la reproductibilité, la résolution et les possibilités analytiques de la protéomique. Nous sommes ainsi passé de l'ère du « contemplatif », qui consistait à comparer *de visu* 2 ou 3 états physiologiques avec parfois, à grands frais, l'identification de quelques protéines, à l'ère de l'analytique avec la comparaison qualitative et quantitative des protéomes avec l'aide de logiciels et l'identification de plusieurs dizaines de spots protéiques.

Cependant, l'approche protéomique ne permet pas une étude exhaustive de toutes les protéines présentes dans un organisme ou une cellule et il faut garder à l'esprit que le spectre d'analyse est limité particulièrement par les 1ères étapes de solubilisation et de séparations électrophorétiques. En effet, de nombreuses protéines, notamment membranaires, sont insolubles ou faiblement solubles, ce qui rend leur extraction très difficile voire impossible. Par ailleurs, l'EBD permet classiquement d'analyser des protéines de p*I* compris entre 3 et 8 et de *M*r comprise entre 10 et 100 kDa. Il résulte de ces limitations une analyse partielle du protéome dont il convient de tenir compte. Malgré cela, l'EBD reste un outil de choix pour l'analyse protéomique car elle combine deux caractéristiques fondamentales qui sont la capacité à séparer des mélanges de plusieurs centaines de protéines et la possibilité de suivre de façon quantitative la cinétique d'expression des protéines au cours d'un phénomène biologique.

Figure 1. Différentes étapes et techniques mises en œuvre pour une approche protéomique.



C'est pour ces raisons que l'approche protéomique est devenue incontournable pour la compréhension de l'organisation et du fonctionnement de l'usine cellulaire dans divers domaines. Dans le domaine de l'agro-alimentaire, la sécurité microbiologique des produits et en amont des ateliers de transformation et de production des aliments est une préoccupation majeure de notre société. Il en va de la santé publique et/ou de conséquences économiques parfois catastrophiques. Dans ce contexte, il est important de mieux comprendre la physiologie des microorganismes d'origine alimentaire. L'analyse protéomique permet d'appréhender les mécanismes d'adaptation aux variations environnementales et aux agressions qu'ils subissent tels que la réfrigération, l'ajout de sel, les modifications de pH, les carences nutritionnelles, la dessiccation ou encore les traitements de nettoyage désinfection. Le plus souvent, lorsque les bactéries sont soumises à ces stress, elles se trouvent sous forme d'agrégats ou de biofilms adhérés aux surfaces dans lesquels elles sont beaucoup plus résistantes que sous la forme de cellules planctoniques, c'est à dire en suspension dans un milieu liquide. Dans ces agrégats ou ces biofilms, les bactéries peuvent survivre plusieurs semaines et représentent un risque de (re)contamination des aliments. De ce fait, l'étude de la physiologie des cellules sessiles (adhérées à des surfaces biotiques ou abiotiques) est particulièrement importante.

L'adaptation aux stress et la croissance en biofilms sont des thèmes que nous étudions par une approche protéomique au travers notamment de deux bactéries, la pathogène *Listeria monocytogenes*, et la bactérie d'altération *Pseudomonas fragi*. Nous avons par exemple montré que l'adaptation de *P. fragi* à un abaissement de la température (réfrigération) se traduisait notamment par la sur-expression de 4 petites protéines. Elles présentent près de 80 % d'identité de séquence entre elles et fonctionnent deux à deux avec des cinétiques d'expression et des mécanismes de régulation qui diffèrent. Dans une autre étude, nous avons constaté que l'expression de 20 % du protéome de *L. monocytogenes* était affectée par le mode de croissance en biofilm par rapport au mode planctonique. Certaines protéines sur-exprimées lors de l'adhésion et de la formation du biofilm ont été identifiées par spectrométrie de masse, d'autres sont en cours d'identification. Ces exemples illustreront l'apport que peut avoir l'outil de la protéomique dans la compréhension de la physiologie bactérienne.

QUE NOUS ONT APPRIS LES TESTS REALISES EN ABATTOIR* DEPUIS JANVIER 2001 SUR LA SITUATION EPIDEMIOLOGIQUE DE L'ESB EN FRANCE ?

DUCROT C.[1], MAILLOT M.[1], MORIGNAT E.[2], GASQUI P.[1], BUQUET B.[1], CALAVAS D.[2]

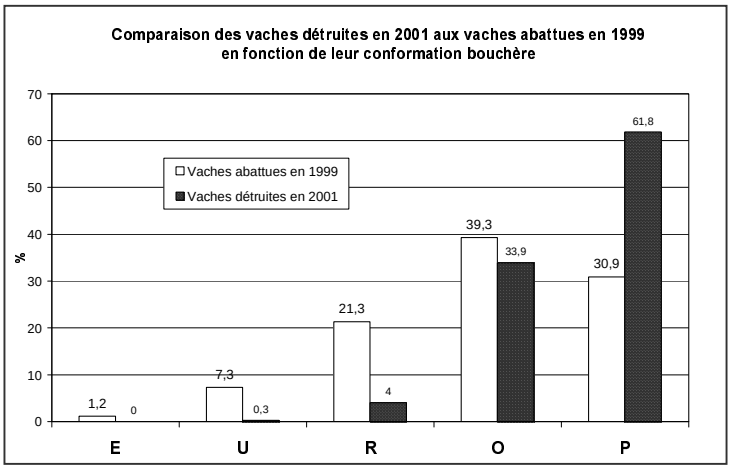
[1] Unité d'Epidémiologie Animale, INRA Theix, 63122 Saint Genes Champanelle
[2] Unité d'Epidémiologie, AFSSA Lyon, 31 avenue Tony Garnier, 69364 Lyon cedex 07.

La surveillance de l'ESB a été organisée en France fin 1990, sur la base d'une surveillance clinique des animaux. La mise sur le marché de tests de diagnostic a permis récemment de compléter le dispositif de surveillance, en testant dès juin 2000 dans le Grand ouest de la France les animaux morts et euthanasiés [3], puis depuis janvier 2001, sur la France entière, les animaux abattus pour la consommation et âgés de 30 mois et plus (décision de la Commission Européenne) ; cet âge a été abaissé à 24 mois au 1er juillet 2001 en France. Parallèlement, un programme de retrait destruction a été conduit lors du premier semestre 2001 pour le soutien économique des marchés ; ces bovins âgés de plus de 30 mois n'ont pas été testés avant destruction.
Au cours de l'année 2001, 2 352 287 bovins ont été testés à l'abattoir, et 179 086 adressés au programme de retrait-destruction sans test. L'analyse de ces données a pour objectif de quantifier la fréquence des animaux trouvés positifs à l'abattoir et déterminer leurs caractéristiques, dans le but de mieux connaître la situation épidémiologique de la maladie.

Analyse des animaux adressés au programme de retrait-destruction et non testés.

Analyser les caractéristiques des animaux détruits a pour objectif d'estimer si le fait que 179 086 bovins aient été détruits sans test a pu biaiser l'estimation du taux de prévalence d'ESB observé sur les 936 853 bovins abattus et testés au cours du premier semestre 2001, et dans quel sens. L'analyse du type des animaux détruits montre que 82 % sont des vaches et 13 % des taureaux, bœufs et génisses ne représentant que 5 %. La comparaison des notes de conformation bouchère des vaches détruites à celle de l'ensemble des vaches abattues en France en 1999 (Figure) montre une très forte sur-représentation de vaches détruites ayant une mauvaise conformation bouchère (notes O et surtout P de la grille de conformation EUROP, gradient décroissant de conformation bouchère).

Trois éléments témoignent de la possibilité d'un biais de sous-estimation du taux d'ESB observé au premier semestre 2001 à l'abattoir : le fait que les animaux détruits soient pour plus de 80% des vaches de réforme, appartenant pour une part plus importante que dans la population des animaux abattus à des classes d'âge à risque d'ESB (35% de bovins détruits nés entre 1993 et 1995, contre 25% pour les bovins testés), et plus fréquemment en mauvais état d'engraissement que les vaches de réforme habituellement abattues ; ce dernier point est à mettre en perspective avec le fait que les animaux atteints d'ESB présentent fréquemment un amaigrissement.



Il n'est pas possible de quantifier ce biais de sous-identification, aussi l'analyse détaillée des caractéristiques des animaux positifs au test et détectés à l'abattoir n'a-t-elle été réalisée que sur les animaux abattus au cours du deuxième semestre 2001.

Taux de prévalence des animaux positifs parmi les animaux abattus

Le taux de prévalence des animaux positifs observé à l'abattoir est de 37 positifs par million de bovins testés sur l'année 2001 ; plus précisément 33 positifs par million (IC à 95% de 23 à 48) au premier semestre (animaux âgés de 30 mois et plus) et 39 positifs par million (IC à 95% de 30 à 52) au second semestre (animaux âgés de 24 mois et plus). La différence entre les taux de prévalence observés aux premier et deuxième semestres conforte l'analyse d'un biais de sous-identification au premier semestre. Certains facteurs tels la variation saisonnière ont pu jouer pour expliquer une différence dans le sens observé, mais on pouvait s'attendre à une tendance inverse puisque les animaux de 24 à 30 mois ont été testés au second semestre et non au premier (l'âge au dépistage ayant été abaissé de 30 à 24 mois), ces animaux jeunes présentant un risque très faible d'être positifs.

Le taux de prévalence d'animaux positifs observé en abattoir est en moyenne 18 fois plus faible qu'en équarrissage (sur les animaux morts de mort naturelle ou euthanasiés car incurables ou accidentés) sur la même période (deuxième semestre 2001). Des études cliniques rétrospectives sont actuellement en cours pour analyser si les animaux détectés positifs lors de l'abattage présentaient auparavant des modifications éventuelles de comportement et de sensibilité. Il est en effet important de pouvoir estimer quelle proportion de ces animaux pouvaient ne pas avoir atteint le stade clinique de la maladie au moment de l'abattage (le test pouvant détecter la protéine prion pathologique avant le stade clinique), et pour les autres quels types de signes évocateurs d'ESB auraient pu être suspectés de leur vivant.

Caractéristiques des animaux détectés positifs à l'abattoir

L'effet des facteurs année de naissance, type de production, sexe et région d'origine sur le risque d'ESB (données abattoir deuxième semestre 2001) a été analysé avec un modèle logistique multivarié permettant l'ajustement de chacune de ces variables sur les autres (Tableau).

Les résultats confirment les tendances observées grâce à la surveillance clinique et aux tests en équarrissage [1]. D'une part, le taux de prévalence est le plus élevé pour les bovins nés entre 1994 et 1996, le pic concernant les animaux nés en 1995. D'autre part, les bovins de type laitier sont seize fois plus atteints que ceux de type allaitant.

Il n'y a pas de différence significative de risque entre mâles et femelles. La différence apparente dans les taux de prévalence observés, 5 positifs par million pour les mâles contre 47 pour les femelles, tient au fait que les mâles sont abattus en moyenne plus jeunes que les femelles, à un âge où la probabilité de les trouver positifs est plus faible.

Tableau. Résultats du modèle logistique multivarié
(1 415 434 bovins abattus au deuxième semestre 2001).

	OR ajusté[µ]	*IC à 95%*		p
Année de naissance				
- 1993 et avant	1			
- 1994	**9,0**	*3,0*	*27,5*	0,0001
- 1995	**12,6**	*4,3*	*36,4*	< 0,0001
- 1996	**3,9**	*1,2*	*12,8*	0,025
- 1997 et au-delà	0,3	*0,1*	*1,6*	0,16
Type de production				
- Allaitant	1			
- Laitier	**16,0**	*3,8*	*67,4*	0,0002
- Mixte ou indéterm.	6,0	*0,5*	*67,4*	0,15

Il existe de fortes différences de prévalence entre régions, confirmées par l'analyse multivariée. Ces résultats ne sont pas détaillés ici car ils ne doivent en aucun cas être analysés indépendamment des données issues des autres systèmes de dépistage de l'ESB, sous peine d'induire en erreur l'observateur sur le taux réel d'atteinte dans chaque région. En effet, une première analyse, qui demande à être approfondie, montre que la répartition des cas dépistés en fonction du système de dépistage (surveillance clinique, équarrissage, abattoir) est très différente d'une région à l'autre. Un phénomène de ce type a déjà été mis en évidence entre les deux premiers de ces systèmes de surveillance lors du programme pilote Grand ouest [2].

Conclusion

En conclusion, les tests réalisés à l'abattoir ont permis de dépister un tiers des cas d'ESB détectés au deuxième semestre 2001, et ont révélé la présence de protéine prion pathologique sur une quarantaine de bovins par million d'animaux abattus. Ces animaux présentent les mêmes profils de risque que les animaux détectés grâce aux deux autres systèmes de surveillance, en termes d'âge et de type de production. Des travaux sont en cours pour déterminer à quel stade de la maladie (incubation ou phase clinique) étaient les bovins dépistés positifs à l'abattoir.

Références

[1] Calavas D., Ducrot C., Morignat E., Prévalence de l'ESB chez les bovins à risque. Résultats et enseignements de deux programmes de tests en France, Bulletin Epidémiologique (2001) 1-2.

[2] Ducrot C., Roy P., Morignat E., Baron T., Calavas D., How the surveillance system may bias the results of analytical epidemiological studies on BSE : prevalence rate among dairy versus beef suckler cattle breeds in France, soumis (2002).

[3] Morignat E., Ducrot C., Roy P., Baron T., Vinard J.-L., Biacabe A.-G., Madec J.-Y., Bencsik A., Debeer S., Eliazsewicz M., Calavas D., Targeted surveillance to assess the prevalence of BSE in high risk populations and associated risk factors in western France, The Veterinary Record, sous presse (2001).

[µ] *Compte tenu du faible taux de prévalence de cas positifs à l'abattoir, le odds ratio (OR ajusté) peut être assimilé au risque relatif pour un individu d'être positif s'il a ce facteur par rapport au facteur de référence ; par exemple, un OR ajusté de 16 pour les animaux de type laitier signifie que ces animaux ont un risque 16 fois plus élevé d'être positifs que les animaux de type allaitant (référence dans ce cas), cette relation étant ajustée sur les autres variables du modèle (année de naissance, sexe, région d'origine).*

DETECTION DES RESIDUS DE TISSUS NERVEUX CENTRAUX (CERVELLE ET MOELLE EPINIERE) SUR LES CARCASSES

V. COPPET
ADIV 2 rue Chappe – 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

Depuis l'apparition de la crise bovine liée à l'agent pathogène responsable de l'ESB, des répercussions importantes en terme de sécurité alimentaire ont été observées. Les tissus suspectés d'être infectés sont bannis de la chaîne alimentaire. Ces tissus à risque sont regroupés en trois catégories principales:

* la moelle épinière, la cervelle et les yeux (interdits depuis 1996).
* la rate, les amygdales et le thymus (interdits depuis 1997).
* la colonne vertébrale et les intestins (interdits depuis 2000).

Ils sont classés dans la catégorie des matériels à risque spécifié (MRS).
Les travaux de recherche effectués jusqu'à présent montrent que les tissus nerveux centraux (cervelle et moelle épinière) sont les tissus les plus infectieux parmi les MRS. Ils constituent de 82 à 85 % du risque infectieux, d'où la nécessité de déterminer et de quantifier ce risque.

L'ADIV a participé à deux programmes européens (REMCORD-FAIR-PL97-3301, EUCNSRISK-FAIR-PL98-7004) qui ont permis de mettre au point un test ELISA dirigé contre les protéines spécifiques du système nerveux central des bovins : la protéine gliale fibrillaire (GFAP), pour détecter et quantifier la contamination des carcasses dans les abattoirs. Cette méthode est opérationnelle et a été validée sur un échantillon d'abattoirs en France, en Angleterre et en Irlande.
Face à ce contexte, la DGAL a souhaité la réalisation d'une campagne de mesures sur un échantillon d'abattoirs français. Cette étude a eu pour objectifs de :

- cartographier la dissémination des tissus nerveux dans les abattoirs,
- mettre au point une procédure de validation des systèmes d'ablation de la moelle afin de vérifier leur efficacité sur des bases objectives.

L'ECHANTILLONAGE

Le choix des abattoirs a été établi sur la base de 4 critères :

- être représentatif des différentes méthodes d'ablation de la moelle utilisées en France,
- choix en fonction du tonnage bovin abattu par an (faible tonnage 530 T/an à tonnage important 34000 T/an)
- les méthodes d'ablation de la moelle : manuelle au couteau après la fente – aspiration de la moelle avant la fente. La finition peut être manuelle après la fente, avec un aspirateur ou une fraise.
- les deux types de scies « alternatives » ou « à rubans », utilisant ou non un système d'aspersion à la fente.

Huit abattoirs français ont fait l'objet de l'étude du risque de dissémination de tissus nerveux.

La collection d'échantillons a été effectuée par écouvillonnage de la zone de la fente à l'aide de chiffonettes stériles.

Les prélèvements ont été effectués alternativement sur les demies carcasses droites et gauches afin de tenir compte d'une éventuelle variabilité entre les deux côtés de la carcasse : D1 à D6 : les 6 zones côté droit – G1 à G6 : les 6 zones côté gauche. (zone 1 : apophyse épineuse de l'ART8 – zone 2 : canal médullaire de l'ART8 – zone 3 : corps vertébral côté interne de l'ART8 – zone 4 : apophyse épineuse de l'AVT5 – zone 5 : canal médullaire de l'AVT5 – zone 3 : corps vertébral côté interne de l'AVT5).

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

La méthode d'analyse est basée sur un test ELISA capture. Ce test s'effectue par une succession d'étapes mettant en jeu une série d'anticorps :

- anticorps primaire anti-GFAP de lapin.
- anticorps secondaire anti-GFAP de souris.
- anticorps tertiaire anti-IgG de souris conjugué à la phosphatase alcaline. (coloration jaune)

La coloration est estimée par une lecture à 2 longueurs d'onde : 405 nm et 492 nm.

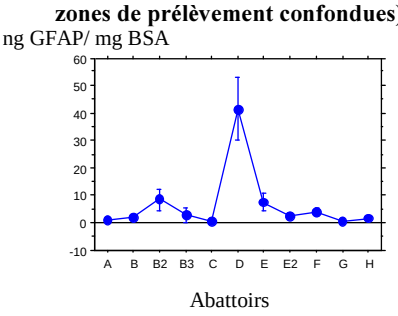
Un dosage de la serumalbumine bovine (BSA) a également été effectué sur les échantillons afin d'évaluer la proportion de GFAP par rapport à la quantité totale de protéines (ngGFAP/mgBSA)

LES RESULTATS

Effet de la méthode d'ablation en fonction des abattoirs.

La comparaison entre les abattoirs ne peut être faite car la situation est très différente d'un abattoir à l'autre et peut varier de façon significative en fonction des jours dans un abattoir

Figure 1 : Quantité de GFAP en fin de ligne d'abattage en fonction des abattoirs (toutes zones de prélèvement confondues)



La comparaison Témoin (finition manuelle)/Machines à aspirer les moelles, dans les mêmes conditions (même jour, même opérateur), montre un effet nettement positif des machines à aspirer les moelles par rapport à une ablation manuelle après la fente.

La quantité résiduelle de GFAP est très différente selon les abattoirs.

Figure 2 : Abattoir B : Comparaison machine à aspiration à moelle/Témoin

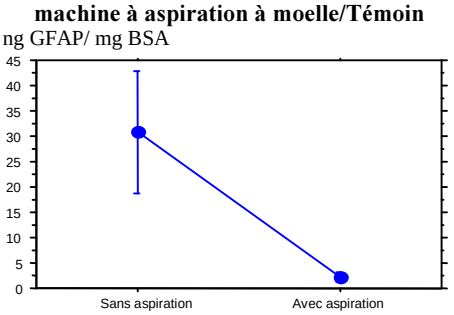
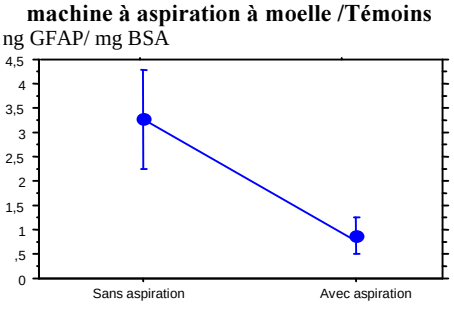


Figure 3 : Abattoir G : Comparaison machine à aspiration à moelle /Témoins



Les variations entre abattoirs ou entre les séries de mesures dans un même abattoir sont expliquées par le fait que les opérateurs utilisant les machines et ceux effectuant la finition sont différents.

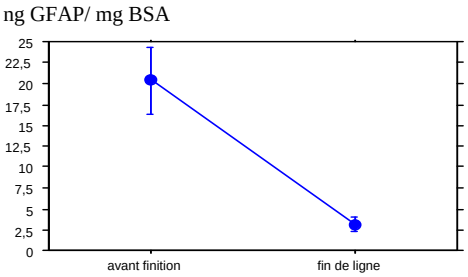
Effet de la méthode de finition selon les abattoirs.

Tous les abattoirs étudiés n'ont pas la même méthode de finition. Dans certain cas, il est possible d'effectuer des prélèvements avant et après finition afin de mesurer l'efficacité de cette opération.

On constate que :

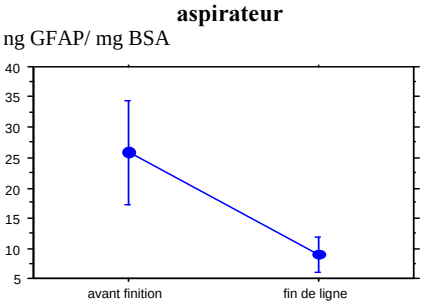
- Sur les Témoins, la finition manuelle permet de réduire de façon significative la quantité de GFAP résiduelle sur les zones de fente des carcasses.

Figure 4: Abattoir B: Effet de la finition manuelle



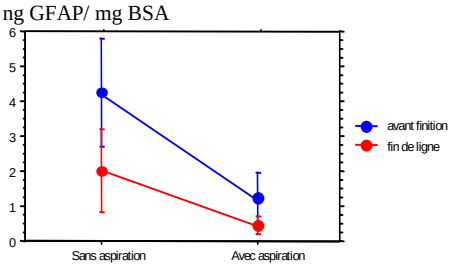
- La finition des carcasses avec un aspirateur permet également de diminuer notablement la quantité résiduelle de GFAP.

Figure 5 : Effet de la finition avec aspirateur



- Un seul abattoir disposait d'une fraise pour la finition des carcasses. L'effet combiné de l'aspiration de la fente avec une finition à la fraise réduit cette quantité résiduelle.

Figure 6: Machine - Abattoir G

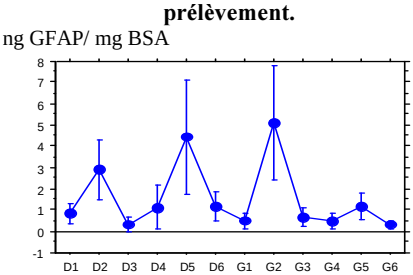


Zones de prélèvements

Effet de l'aspiration en fonction de la zone de prélèvement.

On constate que les zones correspondant aux zones du canal médullaire sont les plus fortement contaminées.

Figure 7 : Abattoir A : Variation de la quantité de GFAP en fonction de la zone de prélèvement.

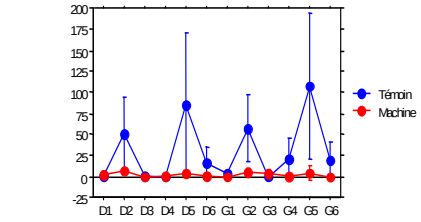


Zones de prélèvements

Effet de l'aspiration en fonction des zones de prélèvement.

Les machines à aspirer les moelles réduisent la quantité de GFAP résiduelle, réduction significative pour les zones du canal médullaire (D2, D5 ; G2, G5).

Figure 8 : Machine– Abattoir B



Zones de prélèvements

CONCLUSIONS-PERSPECTIVES

D'après l'ensemble des mesures réalisées, on constate que les machines à aspirer les moelles réduisent significativement la quantité résiduelle de GFAP. La finition est primordiale, elle diminue la quantité résiduelle de protéines, donc la quantité de tissus nerveux sur la fente. La finition est donc une opération indispensable et complémentaire de l'ablation de la moelle par aspiration.

Face à ce risque de contamination, la quantification des GFAP est une méthode envisageable pour mesurer le risque de dissémination des tissus nerveux centraux. Son utilisation pourrait être envisagée pour détecter la présence de tissus nerveaux dans d'autres produits carnés (steaks hachés, etc.)

Sécurité alimentaire

Animateurs : J-P. FRENCIA (ADIV)
et J. LABADIE (INRA – Clermont –Fd)

Posters

INCIDENCE DE L'AJOUT DES ANTIBIOTIQUES DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES SUR L'APPARITION DE VARIANTS RESISTANTS DE *CAMPYLOBACTER*. EVALUATION DE CETTE RESISTANCE.

S. CHRISTIEANS – L. LEBRET
ADIV – 2 rue Chappe – 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

Chef de file : AERIAL
Partenaires : ADIV – AFSSA Ploufragan – Institut Pasteur

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les *Campylobacter* sont des bactéries incriminées dans les infections d'origine alimentaire. Cette bactérie est largement présente chez les volailles. 60 à 100% des lots de volailles arrivant à l'abattoir sont porteurs de ce germe, malgré l'usage d'antibiotiques dans leur alimentation. En 1999, la liste des antibiotiques autorisés dans l'alimentation animale a été réduite en France.

Dans ce contexte, les objectifs de la présente étude sont les suivants :

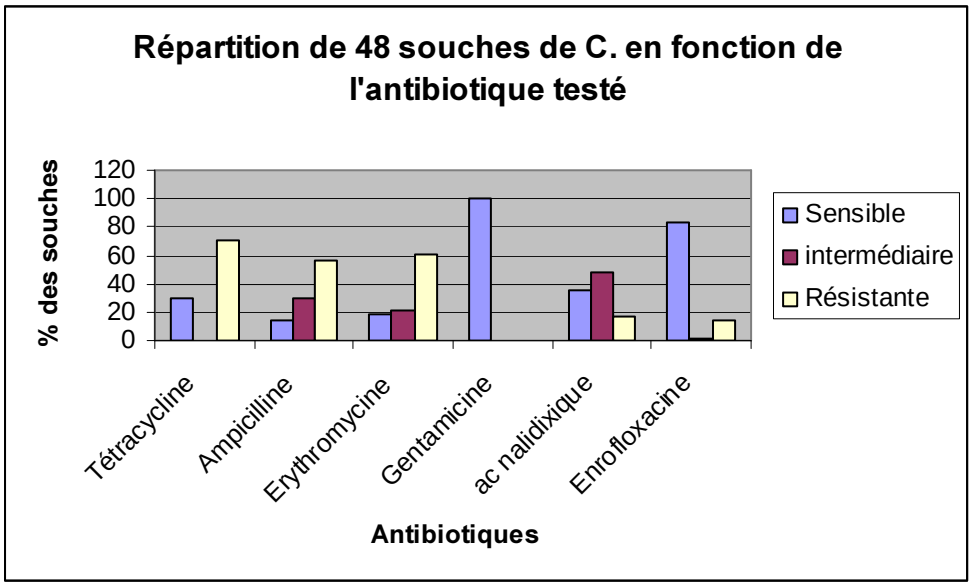
- évaluer l'incidence de l'usage des antibiotiques dans l'alimentation animale comme facteur de croissance ou substance médicamenteuse avant et après restriction de leur usage sur l'émergence de souches résistantes aux antibiotiques,
- apprécier les nivaux de résistance aux différents stades de la filière,
- appréhender les mécanismes d'acquisition de cette résistance.

MATERIEL ET METHODES

- 15 prélèvements ont été effectués dans 10 abattoirs différents (5 abattoirs de poulets standards et 5 abattoirs de poulets Label Rouge).
- 10 poulets par prélèvements ont été effectués.
- Les souches ont été isolées sur les caeca et sur les peaux de filets selon la norme.
- Les isolats ont été identifiés biochimiquement par galerie Api Campy (ADIV) et par PCR (IPL).
- Détermination des CMI (concentrations minimales inhibitrices) vis-à-vis de 6 antibiotiques.

RESULTATS

Total des souches isolées caeca	Total des souches isolées filets	Total des souches isolées	Souches revivifiables	Identification Galeries Api	Identification PCR	Détermination des CMI
57	43	100	50	68% C.c 23% C.J 1 9% autres C.	63,3% C.c 26,5% C.j 10,2% nd (49 souches)	49



- Sur les différents prélèvements réalisés aussi bien pour les poulets Label rouge que pour les poulets standards, les souches de Campylobacter appartiennent essentiellement à 2 espèces (C. jejuni et E. coli). Cette identification par galerie API a été confirmée par méthode PCR pour la majorité des souches. Cependant, il est à noter que l'identification par PCR a permis de mieux identifier certaines souches qui étaient classées incertaines par méthode biochimique.

- Les résultats de l'antibio-résistance ont montré que quel que soit l'élevage (standard ou Label Rouge), toutes souches isolées sont sensibles à la Gentamycine (100%). Pour les autres antibiotiques, même si certaines souches commencent à présenter une sensibilité, un pourcentage non négligeable de bactéries présente encore une résistance importante.

Donc, malgré l'interdiction de ces antibiotiques depuis 1999, la tendance n'est pas encore inversée. Il faut probablement attendre encore quelques années pour voir une totale sensibilité aux Campylobacters vis-à-vis des antibiotiques testés.

Enfin, il est important de souligner que les conclusions émises doivent être considérées avec prudence car il s'agit d'une tendance dans la mesure où tous les résultats n'ont pas été encore traités.

CROISSANCE ET SURVIE DE *E. coli O157 : H7* DANS LES PRODUITS SECS FERMENTES

S. CHRISTIEANS – J. SIRAMI
ADIV – 2 rue Chappe – 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

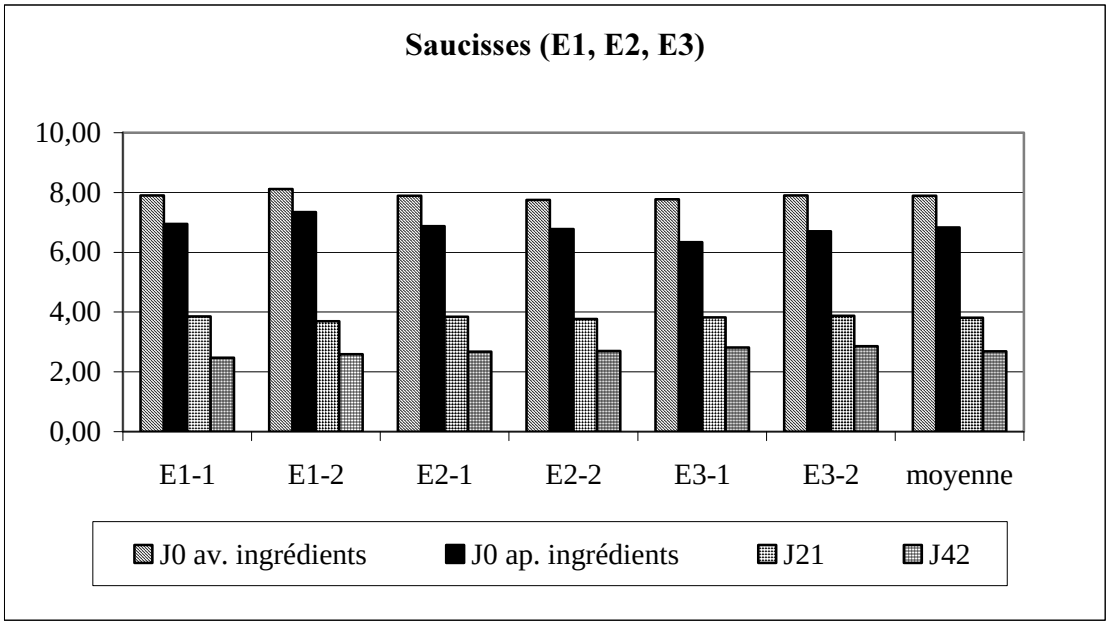
Le saucisson sec est, a priori, un produit fragile du fait de l'absence de cuisson avant consommation. L'objectif de l'étude résumée ici était d'acquérir des connaissances sur l'incidence des paramètres du process sur la survie d'*E. coli O157 : H7* en conditions réelles dans le produit.

Cette bactérie, très pathogène, responsable de la maladie, dite du « Hamburger », a causé de nombreux décès, en particulier en Amérique du Nord, sur des produits contenant en général du bœuf, y compris des saucissons secs.

Les fabricants nord-américains, utilisant du bœuf cru dans leur usine, doivent réaliser des tests de croissance montrant le taux de réduction du procédé. Si la réduction est inférieure à 99 %, un plan d'analyse très lourd (et souvent rédhibitoire économiquement) doit être effectué ; entre 99 et 99,999 %, le plan est allégé mais reste lourd ; avec une réduction supérieure à 99,999 % (soit 5 Log), les analyses de dépistage systématique ne sont pas nécessaires mais une démarche HACCP stricte doit montrer la maîtrise des points critiques de contrôle.

RESULTATS

Evolution de la population d'E. coli O157:H7 au cours de la maturation et la conservation des saucisses sèches (3 répétitions)



Analyses physico-chimiques

		J 0	J 4	J 10	J 21
ph	Moy.	5,75	5,28	5,32	5,45
	Stde	0,01	0,02	0,04	0,02
Aw	Moy.	0,97	0,95	0,90	0,82
	Stde	0,00	0,00	0,01	0,00
Acidité titrable (ml NaOH O,1N par gramme)	Moy.	0,44			0,937
	Stde	0,025			0,083
Humidité (% masse totale)	Moy.	59,87			28,15
	Stde	0,62			0,93
Lipides libres (% masse totale)	Moy.	19,22			35,2
	Stde	0,64			1,095
Protéines (% masse totale)	Moy.	15,7			27,15
	Stde	0,29			1,53
Sel (% masse totale)	Moy.	2,78			5,38
	Stde	0,04			0,24
Nitrate (mg/kg total)	Moy.				31,33
	Stde				8,38
Nitrite (mg/kg total)	Moy.				42,83
	Stde				4,31

Les résultats de l'étude montrent que, pour des ensemencements avec un cocktail de 5 souches à 10^4 germes/gramme, le saucisson sec, tel qu'il est fabriqué en France, est un produit susceptible de présenter une protection significative vis-à-vis du risque lié *E. coli O157 : H7*, comme l'attestent les résultats de certains essais pour lesquels une réduction de 4 Log10 a été obtenue pendant le cycle de fabrication (4 semaines) avec absence totale après 60 jours de conservation (il faut noter que les résultats sont moins bons généralement lorsque le salpêtre est remplacé par du sel nitrité). Le facteur le plus protecteur semble être la présence de nitrites issus de la réduction, faible mais prolongée dans le temps, des nitrates dans le saucisson. Lors de l'étuvage, une acidification bien maîtrisée (pH minimum pas trop bas) devrait potentialiser le maintien d'une concentration de nitrites suffisante pour inhiber *E. coli O157 : H7*.
Un test de croissance a été conduit sur des saucisses sèches. Après 21 jours de séchage (ensemencées à 10^7 germes/gramme comme le préconise l'ACIA*) et combinant à la fois du salpêtre (200 mg) et du nitrite (170 g) permet d'atteindre une réduction de 3,75 Log10. Cette réduction atteint 4,9 Log après 3 semaines complémentaires de conservation sous gaz à la température du séchoir (13 °C).

Les mêmes résultats sont atteints, voire dépassés, sur des saucissons fabriqués dans les mêmes conditions et séchés en 5 semaines (réduction de 3,9 Log10) puis conservés sous gaz pendant 4 semaines complémentaires (réduction de 6,9 Log10).

CONCLUSION

En conclusion, il faut donc retenir que la bonne réduction d'*E. coli O157 : H7* dans le process du saucisson sec français est lié à une dose résiduelle en nitrite suffisante tout au long du séchage (≥ 20 mg/kg) assurée par une acidification lente et ménagée. La conservation après séchage permet une réduction complémentaire qui permet d'atteindre le seuil de 5 Log en environ un mois après la fin du séchage.

** ACIA : Agence Canadienne d'Inspection des Aliments*

ISOLEMENT ET PREVALENCE DE *L. MONOCYTOGENES* DANS LES PROCESS DE FABRICATION DE SAUCISSONS SECS

D. THEVENOT et S. CHRISTIEANS
ADIV Association – 2 rue Chappe 63039 Clermont Ferrand cedex 2

CONTEXTE ET OBJECTIFS

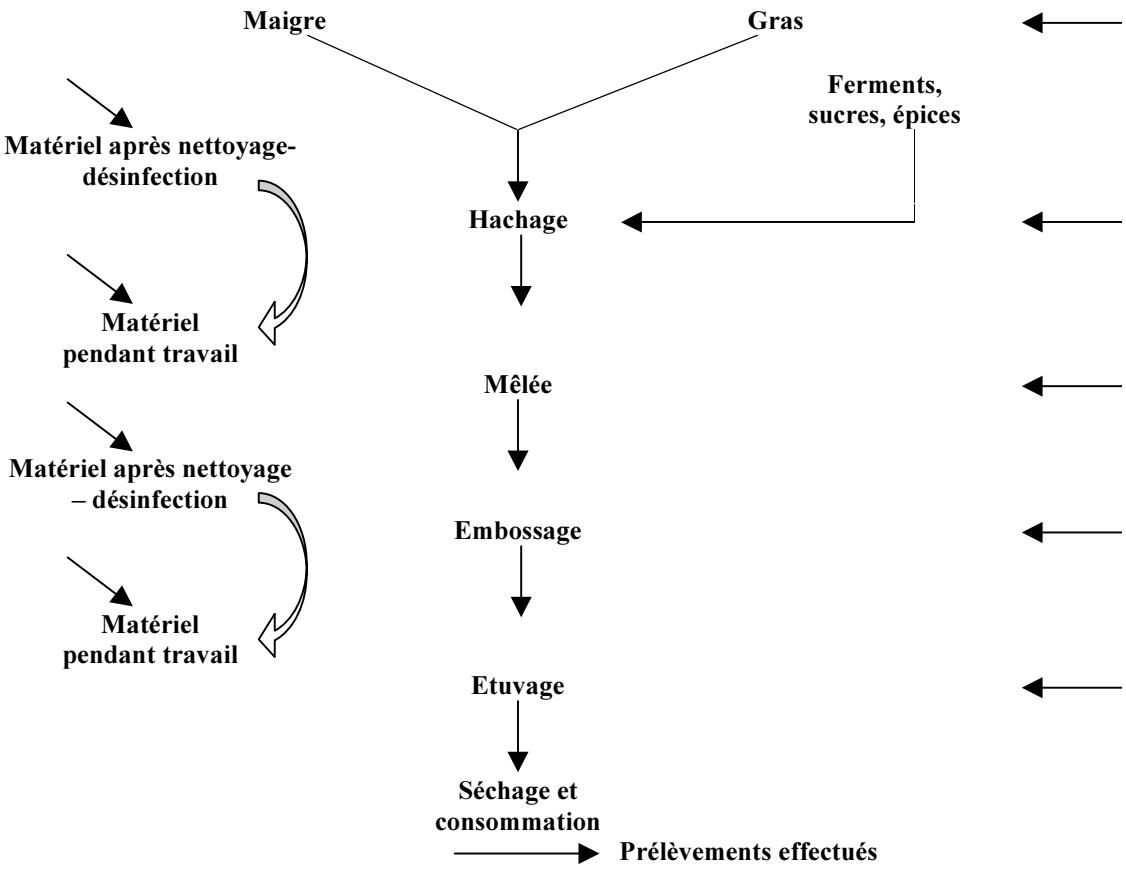
La prévention de la contamination par *Listeria monocytogenes* des produits à risques et la qualité hygiénique des denrées alimentaires sont devenues des priorités, non seulement pour les autorités, mais aussi pour les industriels qui subissent de grandes pertes lors d'épidémies de listériose.

Le saucisson sec, qui fait partie de la tradition culinaire française est couramment fabriqué à partir de matière première contaminée en amont par *Listeria monocytogenes* (abattage, découpe, …). De plus, il est produit dans des salaisons qui peuvent également abriter des souches résidentes sous forme de biofilm sur le matériel utilisé. Le process de fabrication est connu pour son effet assainissant des produits mais la présence de *Listeria monocytogenes* dans les produits en fin de maturation inquiète les salaisonniers.

Le but de notre étude est donc d'évaluer la prévalence de Listeria monocytognes dans les salaisons (matériel et environnement) ainsi que dans les produits à différents stades de maturation jusqu'au stade de la consommation, ceci pour avoir une bonne estimation du risque sanitaire encouru par le consommateur.

MATERIEL ET METHODES

Prélèvements effectués



Une recherche et une identification de *Listeria monocytogenes* seront effectuées sur les prélèvements selon la norme AFNOR V08-055.

Les souches isolées constitueront une collection de souches qui seront sérotypées.

RESULTATS ET DISCUSSION

Recherche de *Listeria monocytogenes* dans les salaisons

Salaisons	A	B	C	D	E	F	G	H	I/J	K	L	Total
Matériel après ND	25/57	1/8	2/30	10/21	10/30	4/30	0/12	13/46	2/45	2/18	2/39	18,1%
Matériel pd W	20/58	8/22	6/23	13/18	22/24	14/28	8/12	25/35	25/45	12/17	18/30	61,2%
Environnement	1/3	0/3	0/4	0/9	0/2	0/5	0/2	5/8	3/8	0/2	1/3	20,4%
MI	10/11	1/4	2/14	3/5	4/4	5/12	1/4	3/8	5/6	2/3	6/12	48,1%
Mêlée	3/5	2/2	2/2	2/2	2/2	1/2	1/1	2/2	2/3	1/2	3/4	77,7%
$S_{embossé}$	5/6	1/2	2/2	1/2	2/2	2/3	0/1	4/4	4/4	1/2	2/3	77,4%
$S_{fin\ étuvage}$	3/6	1/2	1/2	1/1	*	2/3	1/1	*	4/4	1/2	*	61,9%
$S_{fin\ sèche}$	2/6	0/2	1/2	*	*	0/3	0/1	*	0/2	*	*	18,75%

** étude en cours*

Légende
après ND : après nettoyage – désinfection
pd W : pendant travail
S : salaison
x/y : x nombre de prélèvements positifs, y nombre total de prélèvements

Il existe une grande hétérogénéité dans les résultats obtenus selon les salaisons étudiées. En effet, l'efficacité des opérations de nettoyage – désinfection varie selon les méthodes et les produits utilisés mais aussi selon le taux de contamination du matériel pendant une journée de travail.
Cependant, dans chaque salaison et quels que soient les différents taux de contamination, la matière première est à l'origine de la contamination du matériel pendant le travail.
La mêlée obtenue est donc contaminée par la matière première mais aussi par les contaminations croisées et par le personnel qui est en contact direct avec le produit.
Enfin, on semble observer une diminution de la présence de *Listeria monocytogenes* pendant la maturation du produit, notamment lors de l'étape du séchage.

Sérotypage

Sérotype	Etude ADIV	Giovannaci*	Chasseignaux*
1/2a	44,4%	60%	49,9%
1/2c	38,8%	23%	16%
4b	11,1%	5,3%	2%
2e	5,5%	0%	2,5%

** étude faite en 1999 portant sur les ateliers de découpe de porc*

Seulement 20 souches ont été étudiées à ce jour par l'ADIV. Cette étude est donc à considérer avec réserves.

Il semble cependant exister une similarité avec d'autres études effectuées dans des ateliers de découpe de porc où il existe une majorité de sérotypes 1/2a et 1/2b.

On notera enfin la présence du sérotype 4b dans les salaisons, le plus pathogène des sérotypes de *Listeria monocytogenes*.

PERSPECTIVES – SUITE DES TRAVAUX

- ✦ Sérotyper la collection des souches isolées et comparer les données avec d'autres études.
- ✦ Pulsotyper les souches par PFGE : obtenir une cartographie génétique de la contamination des salaisons et comparaison des souches isolées.
- ✦ Effectuer des tests de croissance des sérotypes dominants et des sérotype épidémiologiques dans des fabrications standard de saucisson sec.
- ✦ Optimiser les paramètres du process pour une meilleure inhibition de *Listeria monocytogenes* dans le produit.

GESTION DE LA QUALITE HYGIENIQUE ET ORGANOLEPTIQUE DANS LES ATELIERS FERMIERS CHARCUTIERS

S. AMMOR*, I. CHEVALLIER*, A. LAGUET*, E. DUFOUR*, R. TALON, J. LABADIE****

***Unité de Recherches "Typicité des Produits Alimentaires", ENITA, Site de Marmilhat, F-63370.**
****SRV-INRA de Theix, 63122 St Genès de Champanelle.**

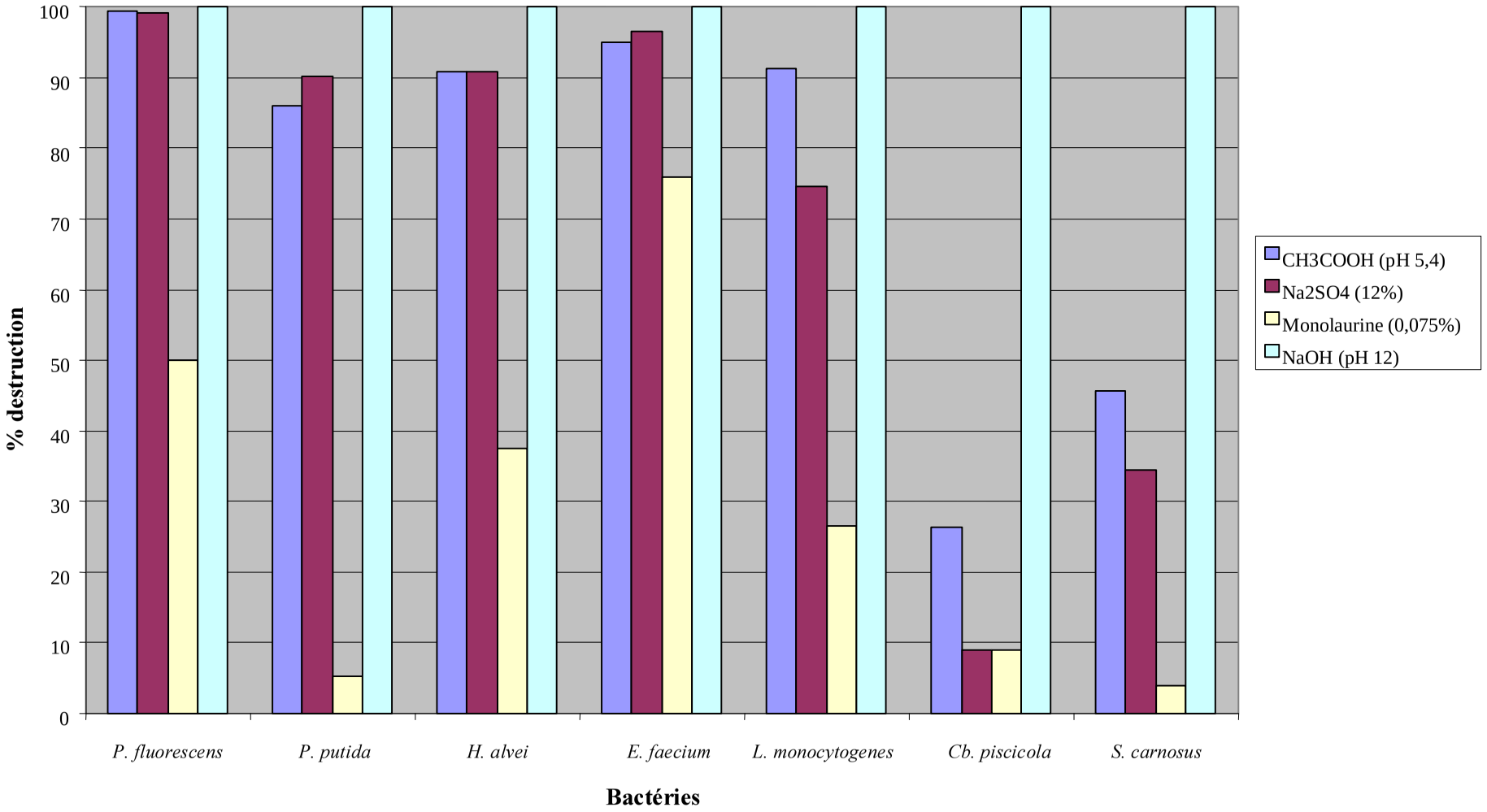
La France, avec une production annuelle de saucisson sec d'environ 98 000 tonnes, est le 4ème producteur en Europe. Les régions Rhône Alpes et Auvergne assurent plus de 70% de cette production qui est largement artisanale voire fermière. Mais, malgré le contexte réglementaire Européen en terme de sécurité alimentaire (directive 93/43 CEE), la gestion de la qualité hygiénique des fabrications dans ces ateliers est encore très variable. Cela revêt une importance particulière dans le cas des ateliers fermiers de charcuterie-salaison qui n'utilisent pas de ferments dans leur procédé de fabrication. Une des approches qui permettrait d'améliorer les productions tout en préservant leur typicité serait d'avoir une démarche raisonnée de l'hygiène et de maîtriser la flore dans les ateliers, en éliminant les flores pathogène et d'altération tout en préservant la flore technologique. En effet, parallèlement à la mise en place de plan de nettoyage et de désinfection, apparaît le problème de la perte du goût du produit. Or une partie de la valeur ajoutée d'un produit fermier provient justement de sa spécificité organoleptique, liée à la flore de l'atelier.

Dans cette perspective, une étude à été menée au niveau d'un atelier fermier charcutier afin de proposer des approches de décontamination, capables de diriger l'écologie microbienne dans l'atelier. L'étude à concerné la mise en place de nouvelles procédures de désinfection capables d'éliminer les flores d'altération et pathogènes tout en préservant la flore technologique et d'assurer ainsi, en même temps, la qualité hygiénique et organoleptique du produit.

Ainsi, six germes fréquemment isolés au niveau de l'atelier et une bactérie pathogène de référence ont été retenus pour cette étude, il s'agit de *Carnobacterium piscicola* et de *Staphylococcus Carnosus*, représentatives de la flore d'intérêt technologique; *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Hafnia alvei*, *Enterococcus faecium*, représentatives de la flore d'altération et *Listeria monocytogenes*, représentative de la flore pathogène. Ces germes ont été cultivées en biofilms (forme fréquente de regroupement microbien dans l'environnement) dans des conditions similaires à celles de la fabrication du saucisson (12°C, 25% NaCl). Par la suite, quatre solutions désinfectantes, représentant 4 types de stress (alcalin, acide, osmotique et biocide) ont été appliquées à la fréquence de désinfection adopté dans l'atelier et pendant 30 minutes. Les résultats de dénombrement de chaque germe après désinfection (Figure 1) ont montré que les stress acides (acide acétique, pH 5,4) et osmotiques (12% sulfate de sodium) étaient relativement sélectifs étant donné qu'ils détruisaient un grand pourcentage des flores pathogène et d'altération , alors que la flore utile était légèrement affectée. Inversement le stress alcalin s'est montré non sélectif vu qu'il a détruit toutes les flores sans distinction. Enfin, le stress biocide, en l'occurrence la monolaurine (monoester d'acide laurique), ne s'est pas montré sélectif. En effet, bien qu'il ait épargné la flore technologique, les germes d'altération et pathogène ont aussi résisté.

Comme l'indique les résultats, cette première étude présente un grand intérêt pour la maîtrise simultanée de la qualité hygiénique et organoleptique des produits fermiers.

Figure 1 : Effet des différentes solutions désinfectantes sur les germes étudiés



DETERMINATION DE CRITERES MICROBIOLOGIQUES POUR LE CONTROLE REGULIER DE LA CONTAMINATION FECALE ET DE L'HYGIENE GENERALE DANS LES ETABLISSEMENTS BELGES PRODUCTEURS DE VIANDE

Y. GHAFIR[1], M. CORNELIS[4], M. JOURET[4], K. DIERICK[2], L. DE ZUTTER[3], G. DAUBE*[1]

[1] Université de Liège, Faculté de médecine vétérinaire, Département des sciences des denrées alimentaires, Microbiologie, Liège, Belgique
[2] Institut scientifique de la Santé publique - Louis Pasteur, Bruxelles, Belgique
[3] Food Microbiology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Gent, Gent, Belgique
[4] Institut d'expertise vétérinaire (Ministère de la Santé publique), Bruxelles, Belgique

Mots clés : niveau sanitaire, aliment, Belgique, critère, *Escherichia coli,* germes totaux aérobies mésophiles, *Enterobacteriaceae*

Introduction

La contamination fécale est probablement la principale source d'agents potentiellement pathogènes pour l'homme, tels que *Salmonella*, *Campylobacter* et les *Escherichia coli* entérohémorragiques, qui peuvent être retrouvés sur les carcasses d'animaux de boucherie et dans la viande. Des pertes provenant du tractus gastro-intestinal ou le contact avec la peau de l'animal sont des causes possibles de contaminations croisées. Chez les animaux à sang chaud, le meilleur indicateur de contamination fécale est *Escherichia coli.* Ce microorganisme est présent en grand nombre dans le tractus gastro-intestinal et survit sous des conditions de réfrigération, mais des températures inférieures à 7°C préviennent sa croissance.

L'USDA a choisi *E. coli* comme indicateur de contamination fécale et le dénombrement de ce microorganisme est obligatoire pour toutes les industries commercialisant de la viande aux Etats-Unis d'Amérique.

Dans sa Décision du 8 juin 2001 (2001/471/CE), la Commission Européenne établit que le dénombrement des *Enterobacteriaceae* et des germes totaux aérobies mésophiles doit être effectué pour contrôler l'hygiène générale dans les établissements produisant et mettant sur le marché de la viande fraîche. Cependant, après avoir établi des critères appropriés, le dénombrement d'*E. coli* peut être utilisé pour remplacer le dénombrement des *Enterobacteriaceae*.

Pour les produits cuits, le dénombrement des *Enterobacteriaceae* est un meilleur indicateur d'hygiène qu'*E. coli.*

Le programme belge de surveillance effectué entre 1998 et 2001 a permis d'évaluer la méthode d'échantillonnage et de proposer des critères pour les *E. coli, Enterobacteriaceae* et les germes totaux aérobies mésophiles.

Matériel et méthodes

Depuis 1998, les programmes de surveillance belges ont déterminé le niveau de contamination des viandes de bovins, porcs, poulets, poules, dindes et poissons par *E. coli.* Les matrices suivantes ont été échantillonnées :

- écouvillons de : carcasses de bœufs et veaux (4 zones sur chaque demi-carcasse d'une surface de 400 cm^2 en 1998 et 1600 cm^2 depuis 1999), carcasses de porcs (4 zones sur chaque demi-carcasse totalisant 600 cm^2),
- viande hachée de bœuf, découpe et viande hachée de porc, peau et filets de poulets, peau de poules et de dindes, et, en 2000, charcuteries (jambon, pâté et salami).

En 2001, le niveau de contamination par les *Enterobacteriaceae* a été évalué sur les carcasses de bovins et de porcs, ainsi que des produits de charcuterie. En 2001, le dénombrement des germes totaux aérobies mésophiles a été également été effectué sur les carcasses de bœufs et de porcs.

Le dénombrement des *E. coli* (en cfu/g ou en cfu/cm^2) a été réalisé en utilisant la méthode SDP-07/1-07/93 validée par l'AFNOR et consistant en un isolement sur le milieu chromogénique Rapid E. coli 2 (Bio-Rad) suivi d'une incubation pendant 24h à 44°C. Le dénombrement des germes totaux aérobies mésophiles et des *Enterobacteriaceae* ont été réalisés en utilisant, respectivement, les méthodes NF-V-08-051 (PCA à 30°C pendant 48-72h) et NF-V-08-054 (VRBG à 30°C pendant 24h).

Résultats et discussion

Cette détermination du niveau de contamination de la viande par *E. coli* a permis d'estimer le niveau sanitaire des établissements belges et d'effectuer le suivi de chacun d'eux depuis 1998.

Dans les matrices peu contaminées (bovin et porc), en général, la prévalence d'agents pathogènes d'un établissement est directement liée à son niveau d'*E. coli.* Ce n'est pas le cas pour la volaille qui est hautement contaminée par *Salmonella* et *Campylobacter*.

Les critères proposés pour *E. coli*, *Enterobacteriaceae* et les germes totaux aérobies mésophiles sont basés sur les percentiles 75 et 95 des plans de surveillance des années 2000 et 2001 et sont représentés au Tableau 1.

Tableau 1 : Critères proposés pour la production belge de viande (cfu/cm^2 ou cfu/g)

		E. coli		Total plate count		*Enterobacteriacea*	
		3m	**M**	**3m**	**M**	**3m**	**M**
Boeuf	**carcasses**	$7{,}0\ 10^{-1}$	$2{,}0\ 10^{1}$	$5{,}1\ 10^{3}$	$6{,}3\ 10^{4}$	$4{,}0\ 10^{0}$	$1{,}1\ 10^{2}$
	haché	$1{,}8\ 10^{1}$	$5{,}0\ 10^{2}$				
Porc	**carcasses**	$3{,}0\ 10^{1}$	$2{,}4\ 10^{2}$	$1{,}2\ 10^{4}$	$8{,}3\ 10^{4}$	$3{,}8\ 10^{1}$	$3{,}6\ 10^{2}$
	découpe	$2{,}6\ 10^{2}$	$6{,}5\ 10^{3}$				
	haché	$9{,}3\ 10^{1}$	$2{,}8\ 10^{3}$				
Poulet	**peau**	$2{,}0\ 10^{4}$	$7{,}5\ 10^{5}$				
	filet	$5{,}3\ 10^{2}$	$5{,}5\ 10^{3}$				
Poule	**peau**	$1{,}3\ 10^{4}$	$2{,}9\ 10^{5}$				
Charcuteries	**jambon**					$3{,}3\ 10^{1}$	$5{,}1\ 10^{3}$
	pâté					$1{,}0\ 10^{1}$	$8{,}6\ 10^{3}$
	salami					$1{,}0\ 10^{2}$	$1{,}5\ 10^{3}$

La détermination du coefficient de corrélation entre les *E. coli*, germes totaux aérobies mésophiles et *Enterobacteriaceae* sur les carcasses de bœuf et de porc a montré une relation claire entre les dénombrements d'*E. coli* et d'*Enterobacteriaceae*, mais aucune relation entre les nombres d'*E. coli* ou d'*Enterobacteriaceae* et les germes totaux aérobies mésophiles n'a pu être mise en évidence.
En raison de la spécificité d'*E. coli* comme indicateur de contamination fécale et du fait que le dénombrement des *Enterobacteriaceae* est intégré dans le dénombrement des germes totaux aérobies mésophiles, le dénombrement d'*E. coli* et des germes totaux aérobies mésophiles ont été choisis respectivement comme indicateurs de contamination fécale et de l'hygiène en général pour les carcasses de bœuf et de porc.
Pour les charcuteries (jambon, pâté, salami), le niveau d'*E. coli* en 2000 était très faible; le dénombrement des *Enterobacteriaceae* a donc été choisi comme indicateur d'hygiène pour ces produits.

Conclusion
Le dénombrement d'*E. coli* et des germes totaux aérobies mésophiles sont de bons moyens d'évaluer l'efficacité des mesures hygiéniques dans l'industrie de la viande et spécialement dans les abattoirs. Pour des contrôles de qualité internes, les entreprises devraient utiliser la même méthode d'échantillonnage et ses critères. Ils permettront d'évaluer le taux de contamination normal de chaque industrie et l'efficacité des mesures de prévention.

Cette étude est financée par l'Institut d'expertise vétérinaire (Ministère belge de la Santé publique).

SALMONELLA SP. OU *LISTERIA MONOCYTOGENES*, DOIT ON CHOISIR ENTRE DEUX MAUX EN ELEVAGE DE PORC ?

FRAVALO P., HASCOET Y., FABLET C., BELOEIL P.A., MADEC F., SALVAT G.
AFFSA LERAP Ploufragan

La présence éventuelle de micro-organismes pathogènes dans les produits carnés fait l'objet de surveillance organisée dans les sociétés industrialisées. D'une part le coût sociétal que représente les épisodes de toxi-infections alimentaires font de ces épidémies des problèmes de santé publique majeurs, d'autre part le déficit en terme d'image pour une entreprise ou même une filière confrontée à ce type de crise est de plus en plus critique pour les acteurs industriels. En production porcine, les données épidemiologiques publiées concernant *Salmonella sp.* montrent que les souches retrouvées sur les pièces de découpe et sur les carcasses ont une origine commune qui se situe à l'élevage (1). Pour *Listeria monocytogenes* (L. mono), l'existence de souches résidentes dans les abattoirs et les ateliers de découpe démontre la nécessité de contrôler les conditions de colonisations des surfaces ouvertes (2). Il n'en reste pas moins que les animaux contaminés sont des vecteurs non négligeables de souches de L. mono dans les ateliers. Dans une démarche de proposition de moyens de maîtrise de la fourche à la fourchette, la diminution de pression de contamination dès l'élevage est à considérer comme un élément facilitant le maintien d'une production à haut statut sanitaire. Cette étude vise d'une part, à décrire pour un élevage de porc les conditions associées à un statut excréteur de *Salmonella sp.* et d'autre part à présenter les premiers résultats d'une enquête concernant L. mono. Le niveau de précision de ces données est différent, mais leur confrontation confirme l'opposition de physiologie de ces deux bactéries et pose clairement la question : doit on faire le choix de l'un ou l'autre des dangers dans les premières étapes de la production de porc ?

Matériel et méthodes - *Salmonella sp.* : une enquête de cohorte prospective a été menée, jusque fin 2001, dans 119 élevages de porcs distribués sur le territoire national. Le suivi rapproché d'une bande (unité épidémiologique) par élevage a été réalisé depuis la sortie du post sevrage et jusqu'à l'abattage. Le renseignement de questionnaires ciblés sur les pratiques zootechniques, les données issues de la fiche de suivi de la bande remplie par l'éleveur, ainsi que l'évaluation de la contamination résiduelle de la salle d'engraissement avant l'entrée des animaux constituent un volume de plus de 3000 variables potentiellement explicatives du statut de l'élevage vis à vis de l'excrétion de *Salmonella sp.*. L'excrétion est évaluée au moyen de 12 « pédichiffonnages » par bande réalisés en fin d'engraissement. Un élevage sera défini comme excréteur si au moins un des 12 chiffonnages se révèle contenir des salmonelles. L'analyse factorielle des correspondances multiples suivie d'une classification hiérarchique réalisées sur les variables indépendamment associées au statut de l'élevage permet de définir un profil d'élevage à risque d'excrétion. Une régression logistique réalisée sur ces variables permet de quantifier le risque relatif de ces variables vis à vis du statut de l'élevage (Systat).
Listeria monocytogenes : une étude a été réalisée dans 32 élevages, répartis selon le mode de distribution de l'aliment (15 en alimentation sèche et 17 en alimentation sous forme soupe) et issus d'une même coopérative de fabrication d'aliment du bétail. Elle visait à préciser le rôle de la microbiologie de l'alimentation dans la contamination des élevages de porcs par L. mono. La microbiologie des aliments (concernant la flore aérobie mésophile, les entérobacteries, les coliformes thermotolérants et la flore lactique), la physico-chimie (le mode de distribution, le pH, le pouvoir tampon, la teneur en acides gras volatils) sont considérées comme autant de variables potentiellement explicatives du statut de l'élevage vis à vis de la contamination par L. mono. Cette contamination a été recherchée dans un prélèvement de 25g d'aliment et dans le chiffonnage de la partie ano-périnéale de cinq porcs dans chaque case. Toutes les données indépendamment associées au statut de l'élevage sont retenues pour la régression logistique (Systat).

Résultats : La population d'élevage de l'enquête *Salmonella sp.* a été constituée sur la base du volontariat des éleveurs participants. A ce titre elle ne peut être considérée comme un échantillon de la population des élevages Français même si les critères technico-économiques retenus pour décrire ces élevages ne sont pas significativement différents en moyenne des performances de l'élevage moyen Français, sauf pour ce qui concerne la taille moyenne significativement plus grande pour notre population (191 truies productives présentes contre 148 en moyenne nationale). Sur les 95 élevages exploités, 36,8% présentaient des salmonelles dans au moins un des douze pedichiffonnages réalisés en fin d'engraissement et étaient identifiés excréteurs. Les sérotypes majoritairement isolés sont S. Derby et S. Typhimurium respectivement 50% et 27,5% des isolats. Une contamination résiduelle des salles d'engraissement avant l'entrée des animaux a été retrouvée dans 29,9% des élevages. A la suite de l'analyse bivariée, les 13 variables associées de façon indépendante à la variable décrivant le statut de l'élevage ont été soumises à une analyse factorielle des correspondances multiples suivie d'une classification ascendante hiérarchique (AFCM-CAH) qui permet de définir un profil d'élevage associé ou non à un statut d'excréteur. La régression logistique permet de quantifier l'importance relative des circonstances associées au statut de l'élevage (Tableau 1). Dans la partie de l'étude concernant L.mono, la composition selon les modes d'alimentation diffère pour les quatre groupes bactériens étudiés (Tableau 2). La différence est retrouvée également pour le pH, le pouvoir tampon ($p<0,05$) et dans une moindre mesure pour la teneur en acide lactique ($p<0,1$). Malgré des différences parfois importantes (plus de 4 log pour la flore lactique par exemple), aucun paramètre n'exprime à lui seul la contamination des élevages par L.mono. Seule la variable «mode de distribution » est associée à un risque de contamination de l'élevage (OR 7,7 IC95% 1,4-42 pour une présentation de l'aliment sous forme humide). L. mono est retrouvée dans 5 élevages sur les 32 suivis (15,6%), ces 5 élevages distribuaient de la soupe en engraissement. Dans 4 de ces 5 élevages la présence de L. mono est détectée à la fois sur les animaux et dans l'aliment .

Tableau 1 : Profil obtenus suites aux analyses multivariées quand à l'excretion de *Salmonella* sp. à l'élevage.

AFCM-CAH		VARIABLE	Régression logistique		
Profil excréteur	Profil non excreteur		Catégorie (% d'excréteurs dans la catégorie)	OR	IC95%
Score de 0/2	Score de 2/2	**Hygiène* en Maternité**	Score0 (50) Score 1 (39) Score 2 (20,7)	15,7 3,5 1	2,3-105,1 0,6-20,9 -
		Hygiène* en Post sevrage	Score 0 (58,1) Score 1 (33,3) Score 3 (9,5)	4,9 1,4 1	1,1-22,1 0,4-5,3 -
	Non	**Diarrhée en engraissement**	Non (30,4) Oui (66,3)	1 5,6	- 1,4-22,5
	Non	**Traitement curatif collectif depuis la fin du post sevrage**	Oui (30,3) Non (66,4)	1 3,5	- 1,1-11,1
Oui	Oui	**Forme de distribution de l'aliment**	Sec (48,6) Soupe (28,9)	2,5 1	0,8-7,7 -
		Age au sevrage	< 26 jours (51,5) >26 jours (27,9)	3,3 1	1,1-10,5 -
Entre 1 et 4	<1	**Densité d'élevage dans un rayon de 2km**			
Moins de 3 jours	Plus de 3 jours	**Vide sanitaire en engraissement entre deux bandes**			
Non		**Pédiluve à l'entrée de l'élevage**			
	1	**Nombre d'aliment distribué en engraissement**			
	Non	**Elevage infecté par le SDRP**			
Oui		**Contamination résiduelle de la salle avant l'entrée en engraissement**			

*Les scores d'hygiène sont des variables synthétiques (scores plus élevés pour niveaux d'hygiène croissant)

Tableau 2 : Microbiologie des différents modes d'alimentation

Forme d'alimentation	Flore aérobie mésophile	*Enterobacteriaceae*	Coliforme à 44°C	Flore lactique (sur MRS acide)	*Listeria monocytogenes*
Humide log UFC/g moyenne (+/-sd) n=25	7.69 (0.56)*	4.34(0.74)*	3.29 (1.05)*	8.01 (0.56)*	**Présence dans 5 sur 17
Sec log UFC/g moyenne (+/-sd) n=20	6.46 (0.63) *	3.44(0.76) *	2.16 (0.49)*	3.25 (0.85)*	**Absence dans 15
* : différence significative p<0,01 ; ** Exprimé en nombre d'élevage, différence significative p<0,05					

Discussion : A l'analyse de ces résultats il apparaît que l'alimentation sous forme sèche, favorable à un élevage indemne de *Listeria monocytogenes* est défavorable pour l'excrétion de *Salmonella sp.* (profil excréteur). L'alternative qui consiste à accepter la présence d'un pathogène en luttant contre la présence de l'autre ne se justifie pas par les données épidémiologiques relevées en aval de la production et est irréaliste au regard du poids de ces deux agents pathogènes en terme de santé publique.

Les niveaux de précisions des enquêtes concernant ces deux pathogènes ne sont pas équivalents. Les investigations concernant les salmonelles ont permis de montrer un panel large de circonstances associées à l'excrétion. Si certains de ces facteurs ne sont pas directement exploitables (*eg* densité d'élevages), d'autres apparaissent comme de réels moyens d'action en élevage pour s'orienter vers la maîtrise de ce pathogène. Les facteurs clés pour la maîtrise concernent l'hygiène qui doit être prise en compte dès les premières étapes de la vie des porcelets et concerner l'ensemble de l'élevage. La mise en place d'élément de biosécurité (pédiluve efficace) mais aussi la mise en œuvre de protocoles de nettoyage et désinfection plus efficaces (permettant de diminuer les 29,9% de contamination résiduelle par S*almonella sp.* relevés dans les salles d'engraissement avant l'entrée des animaux) participeront à l'amélioration du niveau d'hygiène de l'élevage. Alors que le mode d'alimentation constitue un facteur de risque accessoire pour *Salmonella sp.*, il présente un poids tel dans l'explication de la contamination d'un élevage par *Listeria monocytogenes* qu'il apparaît incontournable de le prendre en compte.

L'objectif face aux deux agents pathogènes est d'obtenir une maîtrise de la pression de contamination dès l'élevage pour produire des animaux qui n'entrainerons pas d'écart dans la gestion de la sécurité sanitaire des aliments. Le travail déjà réalisé pour *Salmonella sp.* doit être développé pour *Listeria monocytogenes* afin de disposer d'outils de maîtrise qui soient adaptés à la physiologie différente des deux pathogènes.

Références : (1) Giovannacci, I., Queguiner, S., Ragimbeau, C., Salvat, G., Vendeuvre, J. L., Carlier, V. and Ermel, G. (2001). Tracing of Salmonella spp. in two pork slaughter and cutting plants using serotyping and macrorestriction genotyping, *J Appl Microbiol* **90**, 131-47.
(2) Giovannacci, I., Ragimbeau, C., Queguiner, S., Salvat, G., Vendeuvre, J. L., Carlier, V. and Ermel, G. (1999). Listeria monocytogenes in pork slaughtering and cutting plants. Use of RAPD, PFGE and PCR-REA for tracing and molecular epidemiology, *Int J Food Microbiol* **53**, 127-40.

MISE AU POINT D'UNE NOUVELLE METHODE POUR CULTIVER EN BIOFILMS *LISTERIA MONOCYTOGENES*, *ESCHERICHIA COLI* O157 H7 ET LES AUTRES BACTERIES AFFECTANT LA QUALITE DES VIANDES.

J. LABADIE. et F. TREMOULET
SRV. INRA de Theix
63122. St Genés Champanelle.

Introduction :

Le développement en biofilms des bactéries sur toutes les surfaces des environnements de fabrication des viandes et produits carnés est à l'origine de nombreuses contaminations directes ou croisées par des bactéries pathogènes ou d'altération. Dans le cas de *Listeria monocytogenes* et dans une moindre mesure de *Escherichia coli* O157 H7, la survie en biofilms pendant plusieurs mois dans les ateliers de fabrication ou dans les environnements d'élevage est à l'origine de contaminations le plus souvent faibles au plan quantitatif, mais hautement préjudiciable à la salubrité des produits carnés. Le travail réalisé vise à la mise au point d'un procédé de culture en biofilm de ces deux espèces bactériennes afin de développer des travaux d'écologie microbienne, de physiologie et de biologie moléculaire.

1. Matériel et méthodes.

1.1 Culture en biofilms

La méthode choisie est basé sur l'utilisation d'un support de culture constitué d'un Filtre en Fibre de Verre cylindrique (FFV)(disque de 25 mm de diamètre). Pour créer les biofilms, les bactéries sont cultivées 18h à 37°C en bouillon nutritif (BHI), lavées en eau physiologique et déposées à raison de 0,5 ml par filtre. L'adhésion des cellules bactériennes aux fibres de verre est réalisée en 5 minutes, 1 ou 2 heures. Le filtre ensemencé est ensuite lavé dans une solution d'eau physiologique et déposé sur une boite de pétri contenant un milieu de culture gélosé.

1.2. Caractérisation des biofilms

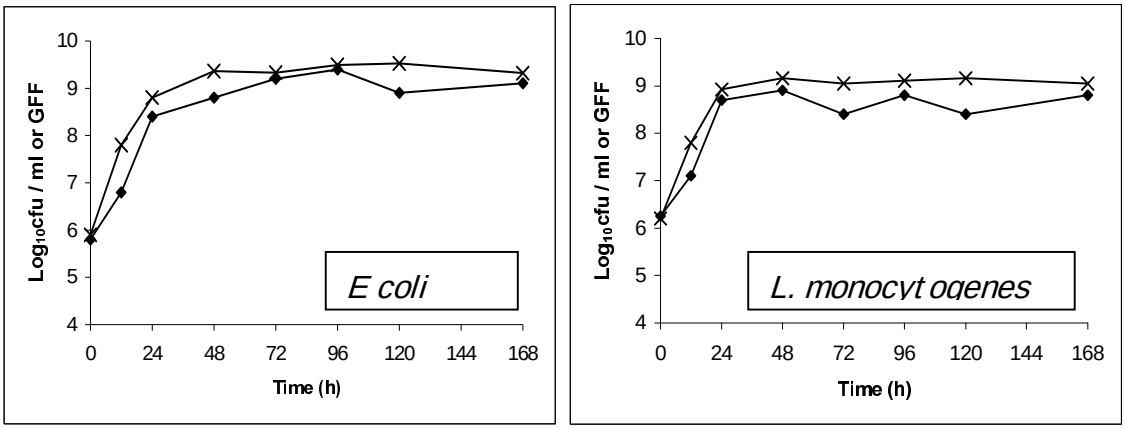
La croissance des biofilms est suivie pendant 7 jours après incubation à 20°C.

La résistance à un traitement oxydatif (eau oxygénée) est réalisée sur des biofilms et des cellules planctoniques de 1 et 7 jours.

Un examen au microscope électronique à balayage est réalisé sur des biofilms âgés de 7 jours.

2. Résultats.

2.2. Croissance des bactéries en biofilms.



La figure 1 montre que la croissance des deux bactéries est un peu plus lente en biofilms après 12 h de culture. La phase stationnaire est atteinte après 24 heures quelle que soit la bactérie.

2.3. Résistance à un traitement oxydatif.

La figure 2 montrent clairement que les bactéries cultivées en biofilms sont nettement plus résistantes à un traitement oxydatif que celles cultivées sous forme libres(planctoniques)

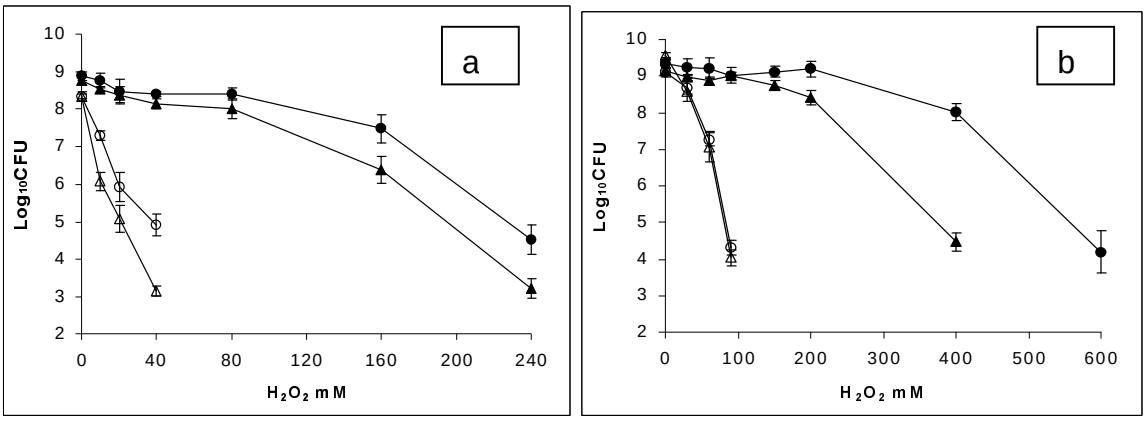
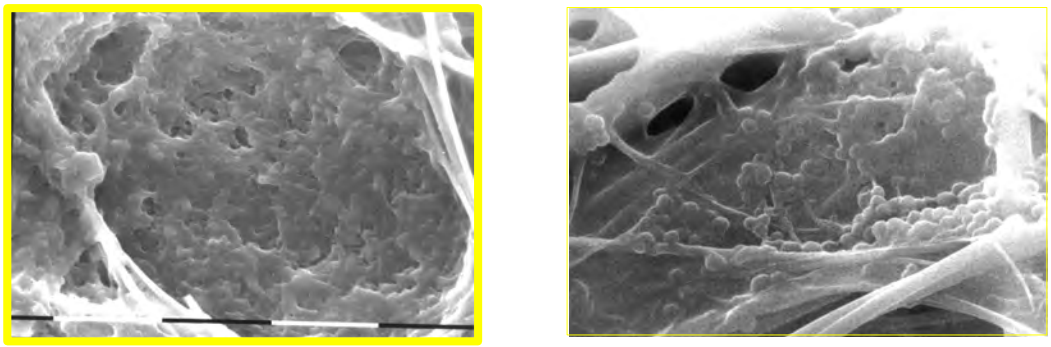


Fig. 2 (a) courbes de survie de *Escherichia coli* O157:H7 et (b) *Listeria monocytogenes* exposées pendant 1 heure à differentes concentrations d'H2O2. Courbes de survies des cellules planctoniques(symboles vides) et des biofilms (symboles pleins) Cultures de1-jour (triangles) ou 7-Jours (cercles). La barre indique la marge d'erreur . Expériences réalisées trois fois.

2.3. Observation au microscope électronique à balayage.

Les photos ci dessous montrent des biofilms de 7 jours des 2 espèces bactériennes.



Leur aspect et caractéristique de biofilms matures, avec un polysaccharide extracellulaire pour *E coli.*

3. Conclusion :

La culture de biofilms sur filtre de verre permet d'obtenir rapidement et aisément des biofilms importants et parfaitement reproductibles de *E coli* O157 H7 et *Listeria monocytogenes*. Compte tenu de la biomasse importante obtenue, la méthode mise au point permet d'envisager des travaux d'écologie microbienne, de physiologie bactérienne et de biologie moléculaire. Des travaux en cours sur d'autres espèces bactériennes confirment l'intérêt de l'approche proposée.

APPLICATION DE LA RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE DU PROTON (RMN ^{1}H) À LA COMPARAISON DE CERVEAUX DE BREBIS SAINES OU ATTEINTES DE TREMBLANTE

O. ROBERT, M.C. AOUST DE ROUVEZE, V. GILARD, M. MALET-MARTINO, R. MARTINO
Groupe de RMN Biomédicale, Laboratoire des IMRCP (UMR CNRS 5623), Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 TOULOUSE Cedex
V. GAYRARD, N. PICARD-HAGEN
Laboratoire de Physiopathologie et Toxicologie Expérimentales (UMR INRA 181), École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23 chemin des Capelles, 31076 TOULOUSE Cedex

La tremblante est une encéphalopathie spongiforme transmissible qui affecte le système nerveux central des ovins et des caprins. Elle est caractérisée par des lésions neurodégénératives retrouvées systématiquement dans des régions du tronc cérébral (pons ou obex). Notre objectif a été de comparer, par RMN ^{1}H, les profils métaboliques de deux régions du cerveau (hémisphère et obex) chez des brebis saines et dans un modèle de brebis naturellement atteintes de tremblante.

Des prélèvements de tissu nerveux, de 55 mg en moyenne, ont été réalisés immédiatement après la mort au niveau de l'obex (14 et 18 échantillons, respectivement pour les brebis saines et atteintes de tremblante) et du gyrus cingulaire (GC) situé dans les hémisphères cérébraux (12 et 19 échantillons, respectivement pour les brebis saines et atteintes de tremblante) chez 4 brebis saines et 6 brebis atteintes de tremblante, de race Manech tête rousse. Les échantillons ont été placés à -80°C dans les 30 minutes suivant la mort de l'animal. Un extrait perchlorique de chaque échantillon a été analysé par RMN ^{1}H en tube scellé à 400 MHz.

Dans un premier temps, les spectres RMN obtenus ont été analysés qualitativement. À partir de techniques RMN à une et deux dimensions, les signaux ont été attribués aux métabolites suivants : lactate, alanine, acide γ-aminobutyrique (GABA), acétate, N-acétylaspartate (NAA), N-acétylaspartylglutamate (NAAG), glutamate (Glu), glutamine (Gln), succinate, aspartate, créatine, choline (Cho), glycérophosphocholine (GPC), phosphocholine (PC), inositol et scylloinositol (Figure). Le NAAG présent dans les extraits d'obex n'a pas été détecté dans les extraits de GC.

Le tableau présente les concentrations de ces différents métabolites (en µmol/g de tissu) en fonction du statut pathologique de l'animal et de la nature du prélèvement cérébral (obex versus GC). Sur le plan anatomique, les concentrations de lactate, d'alanine et de la somme GPC + PC sont plus élevées dans l'obex que dans le GC des brebis saines. Chez les brebis atteintes de tremblante, les concentrations de NAA, de GABA, de Glu et de Gln sont plus faibles dans l'obex que dans le GC, alors que les concentrations de la somme GPC + PC et de choline sont plus élevées dans l'obex. Sur le plan pathologique, dans l'obex, les concentrations de NAA et de NAAG sont plus faibles chez les brebis atteintes de tremblante que chez les brebis saines, alors que les concentrations de GABA sont augmentées par la maladie. Dans le GC, les concentrations d'alanine, de NAA, de GABA, de Glu, de Gln et de GPC + PC des brebis atteintes de tremblante sont supérieures à celles des brebis saines.

À notre connaissance, des études RMN ^{1}H d'extraits cérébraux ont été réalisées uniquement sur des modèles expérimentaux de tremblante de souris (1,2). Il est surprenant de constater que les différences de profils métaboliques entre les brebis saines et les brebis atteintes de tremblante sont plus nombreuses dans le GC que dans l'obex, qui est le siège des lésions neurodégénératives. L'augmentation de NAA dans le GC des brebis atteintes de tremblante n'avait pas été observée dans un modèle de tremblante de souris (1,2). Nous n'avons pas mis en évidence d'augmentation des concentrations d'inositol, contrairement à ce qui avait été observé dans certains modèles de souris expérimentalement infectées par la tremblante (2). Cependant, la quantification de l'inositol réalisée par ces auteurs a été faite sur le signal à 3.55 ppm, région largement « contaminée » par d'autres métabolites (Figure), alors que nous avons quantifié ce métabolite à partir de la résonance isolée de l'inositol à 3.30 ppm. L'augmentation de GABA dans le GC des brebis atteintes de tremblante est en accord avec les résultats de Lu et al. (3) qui suggèrent une modification de la distribution du GABA dans le cerveau de hamster expérimentalement infecté par la tremblante.

En conclusion, nous avons montré par RMN ^{1}H une modification du profil métabolique chez les brebis en phase clinique de tremblante. Cette étude pourrait être étendue à des prélèvements cérébraux de brebis en phase d'incubation de tremblante pour voir si les modifications métaboliques observées précèdent la phase clinique. Par ailleurs, d'autres prélèvements comme le muscle ou les liquides biologiques (lymphe, LCR), ne nécessitant pas le sacrifice de l'animal et présentant moins de risque de contamination, pourraient être analysés.

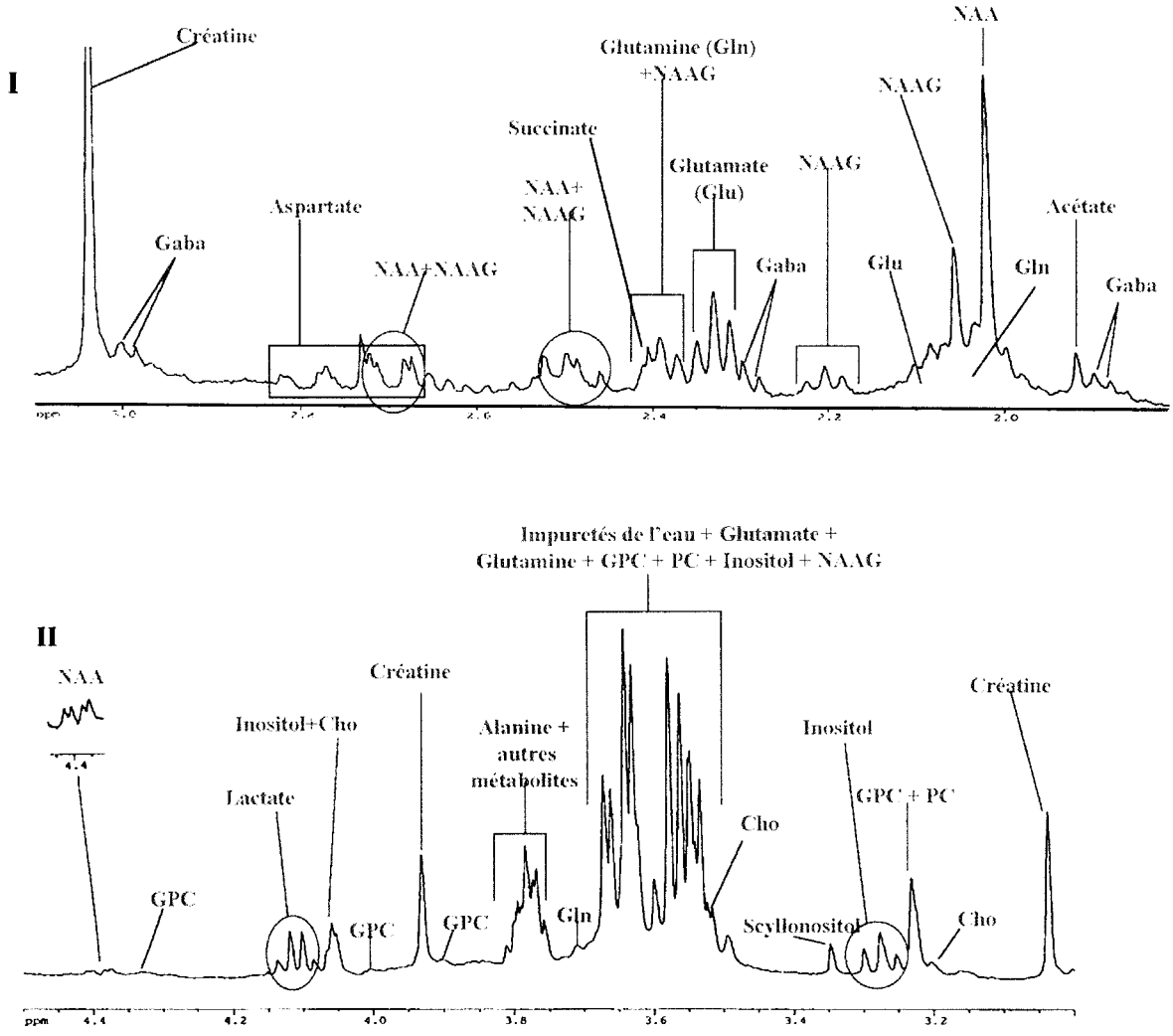
Bibliographie

1) Bell J.D., Cox I.J., Williams S.C.R., Belton P.S., McConnell I., Hope J. J. Gen. Virol., 72, 2419-2423 (1991)
2) Chung Y.L., Williams A., Chong A., James H., Williams S.C.R., Bell J.D. NMR in Biomedicine, 9, 359-363 (1996)
3) Lu P., Sturman J.A., Bolton D.C. Brain Res., 681, 235-241 (1995)

TABLEAU. Concentrations des différents métabolites, lactate, alanine, NAA, NAAG, GABA, glutamate, glutamine, créatine, choline, glycérophosphocholine + phosphocholine (GPC + PC) et inositol (en µmol/g de tissu) mesurées par RMN ^{1}H dans l'obex et le GC de 4 brebis saines et 6 brebis atteintes de tremblante.

	Obex		Gyrus cingulaire	
Statut pathologique	Brebis saines	Brebis atteintes de tremblante	Brebis saines	Brebis atteintes de tremblante
Lactate	14 ± 5	11 ± 2	9.2 ± 3.2	11 ± 3
Alanine	0.48 ± 0.18	0.40 ± 0.08	0.32 ± 0.15	0.42 ± 0.14
NAA	2.8 ± 1.1	1.8 ± 0.4	3.2 ± 1.2	3.9 ± 0.8
NAAG	1.0 ± 0.5	0.59 ± 0.36		
GABA	0.72 ± 0.23	0.88 ± 0.28	0.61 ± 0.27	1.2 ± 0.3
Glutamate (Glu)	3.1 ± 1.0	2.6 ± 0.3	3.8 ± 1.5	5.9 ± 1.2
Glutamine (Gln)	1.5 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.5	2.1 ± 0.5
Créatine	4.8 ± 1.6	4.9 ± 1.2	3.9 ± 1.6	5.0 ± 1.3
Choline	0.18 ± 0.09	0.15 ± 0.05	0.15 ± 0.06	0.11 ± 0.05
GPC + PC	1.5 ± 0.5	1.8 ± 0.5	1.0 ± 0.4	1.5 ± 0.3
Inositol	7.5 ± 2.8	8.3 ± 2.0	6.4 ± 2.7	8.6 ± 2.2

FIGURE. Spectres RMN ^{1}H d'un extrait perchlorique de cerveau de brebis saine (partie obex).
(I : étalement de la zone 1.8-3.1 ppm ; II : étalement de la zone 3.0-4.5 ppm)



CROISSANCE DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* EN BIOFILM EN FONCTION DE LA SURFACE ET DE LA TEMPERATURE ET EFFETS DE DIFFERENTS TRAITEMENTS SUR LA SURVIE

P. CHAVANT [1] et M. HEBRAUD [1,2]

Station de Recherches sur la Viande – Microbiologie[1], Plate forme protéomique[2], INRA de Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

Les études en laboratoire sur les bactéries sont généralement effectuées à partir de cultures planctoniques, en milieu liquide. Hors, dans les environnements naturels, plus de 90% des microorganismes ont un mode de développement sessile, adhérés à une surface biotique ou abiotique. Ils peuvent alors former des biofilms qui sont des agrégats microbiens entourés d'une matrice d'exopolymères. Sous cette forme, il est connu que les microorganismes sont plus résistants aux agressions extérieures, qu'elles soient environnementales, dues à des traitements de nettoyage désinfection ou par des antibiotiques.

Listeria monocytogenes est une bactérie ubiquitaire qui peut être trouvée dans le sol, les réseaux hydrauliques, sur les végétaux ainsi que dans l'environnement industriel en agro-alimentaire. Cette bactérie peut également être présente dans le tractus intestinal des animaux et de l'homme sous forme de portage asymptomatique. Ce germe est l'agent causal de la listériose, une infection d'origine alimentaire qui peut être très grave pour les populations à risque (personnes âgées, femmes enceintes, nourrissons, immunodéprimés). Bien que la fréquence des cas de listériose ait diminué grâce aux efforts des industriels de la filière alimentaire et la mise en place d'un système de surveillance efficace, le risque sanitaire reste important. Ainsi, au cours de l'année 1999, deux cent soixante dix cas ont été signalés en France (1) avec un taux de mortalité de 23 %. Pour l'industrie agroalimentaire, les conséquences économiques liées à une crise alimentaire de listériose sont dramatiques car outre le manque à gagner direct dû au retrait et à la destruction du produit incriminé, les pertes indirectes liées à la détérioration de l'image de marque du produit peuvent être fatales à l'entreprise.

En culture pure, *L. monocytogenes* est capable de former des biofilms sur des surfaces abiotiques très variées telles que l'acier inoxydable, le verre, ou le Téflon™ (2-6). Dans les ateliers de production et de transformation des produits alimentaires, *L. monocytogenes* peut être isolé au sein de biofilms pluri-microbiens constitués sur les surfaces des équipements. Il représente ainsi une source potentielle de (re)contamination des produits.

Le but de notre travail était d'une part d'évaluer la capacité à former des biofilms en fonction des propriétés de surface de la bactérie et du support d'adhésion et, d'autre part, de comparer la résistance de *L. monocytogenes* à des traitements appliqués à différents stades de croissance en mode planctonique ou sessile.

Les propriétés physico-chimiques de surface jouent un rôle dans l'adhésion des bactéries. Aussi, ces propriétés ont été caractérisées par deux méthodes : la zétamétrie (mobilité électrophorétique) et la MATS (Microbial Adhesion To Solvents) (7). Elles ont montrées que la souche *L. monocytogenes* LO28 utilisée possédait une charge globale de surface toujours négative avec très peu de variation en fonction des pH (pH 2 à 7), des températures (37°, 20° et 8°C) ou des stades physiologiques testés (phase exponentielle et stationnaire de croissance). Par ailleurs, la souche présentait une tendance hydrophile, due à un caractère basique prononcé, qui s'amplifiait avec l'abaissement de la température. Le caractère hydrophile de la souche permet de penser que les bactéries peuvent adhérer de façon plus importante à des surfaces hydrophiles telles que l'acier inoxydable ou le verre qu'à des surfaces hydrophobes comme le PTFE ou le PVC, et ce, d'autant plus que la température est basse.

Afin de vérifier cette hypothèse, *L. monocytogenes* LO28 a été cultivée à 37°, 20° et 8°C sur deux types de surfaces, l'acier inoxydable et le PTFE (Téflon™). La croissance en biofilms a été suivie au cours du temps par dénombrement des bactéries adhérées, par microscopie à épifluorescence afin d'évaluer le taux de recouvrement des surfaces et par microscopie à balayage. Des lames d'acier inoxydable ou de PTFE étaient submergées pendant 2 h par une culture bactérienne, puis elles étaient rincées afin d'éliminer les bactéries non adhérées, et recouvertes par du milieu stérile qui était renouvelé quotidiennement. Les dénombrements et les différentes observations ont révélées : (i) l'absence de matrice car la souche produisait très peu de polymères exo-cellulaires, (ii) un biofilm avec une structure tridimensionnelle importante qui se développait en quelques heures sur les deux types de surface à 37°C et des phénomènes de décrochements d'agrégats cellulaires qui intervenaient sur PTFE après quelques jours, (iii) une colonisation légèrement moins rapide des 2 surfaces à 20°C avec la formation d'un réseau

tridimensionnel au bout de 2 j sur acier et 3-5 j sur PTFE mais pas de décrochements même après 7 j, (iiii) une colonisation très lente de l'acier inoxydable à 8°C par des cellules allongées avec la formation de quelques agrégats après 7 j et une adhésion mais sans colonisation du PTFE à basse température avec même des décrochements de cellules après 1-2 j.
Ces résultats ont permis de démontrer que *L. monocytogenes* LO28 était capable de se développer et de former des biofilms aussi bien sur une surface hydrophile que sur une surface hydrophobe. La colonisation était cependant plus rapide et la stabilité des biofilms meilleure sur l'acier inoxydable, ce qui est en accord avec les propriétés hydrophiles de la souche. Les décrochements observés sur PTFE à 37°C pouvaient être dû à des interactions trop faibles avec le support d'un petit nombre de bactéries à la base des agrégats volumineux. A 20°C, la colonisation plus lente et la présence de flagelles laisse supposer une meilleure adhésion et donc une plus grande stabilité de la structure tridimensionnelle des biofilms. Il était particulièrement intéressant de constater qu'à 8°C, la colonisation de la surface hydrophile était fortement ralentie mais surtout qu'elle était nulle sur la surface hydrophobe, très probablement en raison de l'augmentation du caractère hydrophile de la souche à basse température.
Dans la perspective d'une production massive de biofilms de *L. monocytogenes* à des fins d'études physiologique et moléculaire, les conditions utilisées sur acier inoxydable à 20°C offrent d'excellentes possibilités avec une biomasse de 2×10^8 cfu/cm^2. D'un point de vue pratique, l'utilisation de surfaces hydrophobes, telle que le PTFE, dans des conditions de basses températures permet de minimiser le développement de cette bactérie dans les ateliers de production et transformation des produits alimentaires.

La deuxième partie de cette étude a consisté à tester la résistance à des traitements de *L. monocytogenes* à différents stades de croissance en mode planctonique ou sessile. Ces traitements étaient appliqués sur des bactéries en phase exponentielle ou stationnaire de croissance en milieu liquide et sur des bactéries sessiles après 6 h, 1 j et 7 j d'adhésion sur l'acier inoxydable. Ces différents traitements consistaient en l'application pendant 30 min de solutions d'acide acétique (pH 5.0, $1{,}8.10^{-4}$ mol/l), de NaOH (pH 12.0, 0,009 mol/l), de Na_2SO_4 (10 %), d'ammonium quaternaire (20 ppm) ou de monolaurine (75 ppm). La survie était évaluée par étalement sur boîte gélosée à l'aide d'un ensemenceur spiral.
L. monocytogenes est apparue très résistante à l'acide acétique, au sel ainsi qu'à la monolaurine quel que soient les conditions de croissance étudiées. Par contre, un traitement alcalin, alcalin combiné avec le sel ou l'application de l'ammonium quaternaire affectaient la viabilité des cellules. Pour ces trois traitements, les cellules planctoniques en phase exponentielle de croissance étaient toujours les plus sensibles (Δlog de 4 à 8). La résistance des cellules en biofilms lors des chocs alcalin et alcalin/salin diminuait un peu avec l'âge (Δlog de 0.7 et 0.68 à 6 h et de 2.6 et 1.6 à 7 j, respectivement). Lors de ces 2 traitements, les cellules planctoniques en phase stationnaire montraient une résistance équivalente à des biofilms âgés.
Par contre, le traitement à l'ammonium quaternaire avait un effet plus marqué sur les cellules planctoniques en phase stationnaire (Δlog de 4.8) que sur les cellules sessiles, ces dernières étant d'autant plus résistantes avec l'âge (Δlog de 2.3 , 1.9 et 0.3 à 6 h, 1 j et 7 j, respectivement).
La comparaison des différents traitements sur des biofilms âgés de 7 j dont le milieu de culture était renouvelé quotidiennement ou non, n'a pas fait apparaître de différences significatives sur les taux de mortalité des cellules. Par contre, la population adhérente traitée était inférieure de 2 logs lorsque le milieu n'était pas renouvelé pendant 7 j.
Ces résultats confirment que le mode de développement et le stade de croissance sont des paramètres importants à considérer pour l'application de traitements de nettoyage désinfection et que certains de ces traitements n'ont que peu d'effet létal sur les cellules de *L. monocytogenes*.

Références bibliographiques :

1. Goulet, V., Jacquet, C., Laurent, E., Rocourt, J., Vaillant, V. and H. Valk. 2001. Bull. Epidémiol. Hebdom., **34**:161-165.
2. Blackman, I. C. and J. F. Frank. 1996. J. Food Protect. 59:827-831.
3. Chae M.S. and H. Schraft. 2000. Int. J. Food Microbiol. **62**:103-11.
4. Chavant P., Martinie B., Meylheuc T., Bellon-Fontaine M.-N. and M. Hébraud. 2002. Appl. Environ. Microbiol., **68**:728-37.
5. Kalmokoff M.L., Austin J.W., Wan X.D., Sanders G., Banerjee S. and J.M. Farber. 2001. J. Appl. Microbiol., **91**:725-34.
6. Mafu, A. A., D. Roy, J. Goulet, and P. Magny. 1990. J. Food Protect. **53:**742-746.
7. Bellon-Fontaine, M.-N., Rault, J. and C.J. Van Oss. 1996. Colloids Surf. B: Biointerfaces, **7**:47-53.

LISTERIA MONOCYTOGENES ET *SALMONELLA* DANS LA FILIERE PORC : ETUDE DES CONTAMINATIONS DU RESSUYAGE DES CARCASSES A LA TRANSFORMATION EN PRODUITS DE CHARCUTERIE ET DE SALAISON

I. GIOVANNACCI [(1)], J-L. VENDEUVRE [(1)], G. ERMEL [(2)], C. PISSAVIN[(2)], M-T. TOQUIN [(2)], Y. MICHEL[(2)] et V. CARLIER[(3)]

[(1)] CTSCCV, 7 avenue du Général de Gaulle, 94700 Maisons-Alfort, igiovannacci@vet-alfort.fr

[(2)] AFSSA Ploufragan, UR HQPAP, B.P. 53, 22440 Ploufragan,

[(3)] ENVA, 7 avenue du général de Gaulle, 94700 Maisons-Alfort.

INTRODUCTION

Listeria monocytogenes et *Salmonella* demeurent des micro-organismes pathogènes d'intérêt majeur dans les industries de transformation de la viande de porc. En 1996, le CTSCCV a engagé des travaux relatifs aux voies de propagation de ces deux micro-organismes dans la filière porcine. Les premiers travaux (1996-1999) ont concerné l'abattage et la découpe de porcs.

L'objectif des présents travaux était de comprendre les voies de transmission de *L. monocytogenes* et de *Salmonella,* du ressuyage des carcasses à la transformation des viandes en produits de charcuterie-salaison et d'acquérir une meilleure connaissance des souches bactériennes trouvées en transformation et de les comparer à celles isolées plus en amont dans la filière.

MATERIELS ET METHODES

I. Collecte d'isolats de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella*

1. Campagnes de prélèvements - Les campagnes ont été réalisées dans 4 entreprises de transformation de la viande de porc (jambon cuit, saucisserie fraîche et salaisons sèches), désignées par les codes E1 à E4. E1 et E2 étaient des entreprises intégrées (abattage-découpe et transformation). E3 et E4 étaient des entreprises de transformation au sens strict. Ainsi, 378 prélèvements ont été réalisés au cours de 12 campagnes, en 1999 et 2000, dont 149 à partir de produits de porc (carcasses, pièces de découpe, matières premières et produits) et 229 dans l'environnement en cours d'activité et après nettoyage et désinfection.

2. Méthodes de prélèvement - Les prélèvements environnementaux, sur carcasses et pièces de découpe brutes ont été réalisés par chiffonnage. Les prélèvements sur pièces de découpe élaborées, muscles en cours de transformation et produits finis ont été réalisées par excision.

3. Analyses microbiologiques - Les recherches de *L. monocytogenes* et de *Salmonella* ont été effectuées selon les méthodes NF V08-055 et NF V08-052 respectivement. Tous les isolats de *L. monocytogenes* et de *Salmonella* ont été mis en conservation.

II. Typage de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella*

1. Sérotypage - Les isolats de *L.monocytogenes* ont été sérotypés à l'aide d'une gamme d'anticorps somatiques O et flagellaires H (Eurobio, France). Les *Salmonella* ont été sérotypées par le laboratoire AFSSA Paris.

2. Pulsotypage - Les macrorestrictions de l'ADN ont été réalisées avec *Apa*I pour *Listeria monocytogenes* et *Spe*I pour *Salmonella.* L'électrophorèse en champs pulsés (CHEF DRIII), l'acquisition des données par caméra (GelDoc2000) et leur traitement (Molecular Analyst) ont été réalisés à l'aide d'équipements Bio-Rad.

RESULTATS

I. Résultats de présence de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella*

1. Présence sur produits de porc

- Carcasses - 50 % des carcasses ont montré une contamination à la fois en *L. monocytogenes* et en *Salmonella.*

- Matières premières et produits en cours de transformation - Plus de 50-55% des échantillons de matières premières analysées et produits en cours de fabrication sont apparus contaminés par *L. monocytogenes* et 6-8% contaminés par *Salmonella.* Aucune *Listeria* ou Salmonelle n'a été isolée de produits ayant subi une cuisson.

2. Présence dans l'environnement

- Ressuyage et ateliers de découpe de porc - *L. monocytogenes* a été retrouvée dans 24% des prélèvements en cours d'activité et 5,6 % après nettoyage et désinfection. Par contre, aucune présence de *Salmonella* n'a été observée.

- Ateliers de transformation de la viande de porc - 21,9 % des prélèvements étaient positifs en *L. monocytogenes* au total, avec 32 % de positifs en cours d'activité et 10% après nettoyage et désinfection. Dans la zone sensible des entreprises, les prélèvements positifs en *L. monocytogenes* étaient de 5% et 5,6%, respectivement en cours d'activité et après nettoyage et désinfection.

2,7 % des surfaces étaient contaminées par *Salmonella.* Aucune *Salmonella* n'a été retrouvée après nettoyage et désinfection.

II. Typage de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella* et diversité observée

1. *Listeria monocytogenes*

- Sérotypage - Le sérotype 1/2 a représente près de 60 % des isolats puis viennent les sérotypes 1/2 c (23%), 1/2 b (9,7 %) et 4b (5,3%). Les autres sérotypes (3a, 4a, 4ab, 4c, 1/2) sont très peu représentés (2% pour l'ensemble).

- **Pulsotypage** - 34 pulsotypes *Apa*I différents ont été identifiés, rassemblés en 5 grands groupes, désignés par les lettres A, B, C, D et N. Un dernier groupe hétérogène rassemble, quant à lui, des pulsotypes divers et faiblement représentés.Les groupes « A, B et C » (77% des isolats) ont été précédemment identifiés lors d'une étude réalisée en abattage et découpe de porcs (1995-1997) où elles représentaient 99 % des isolats de *L.monocytogenes* (Giovannacci *et al*., 1999). Le groupe « D », associé au sérotype 1/2b, et le groupe « N », associé au sérotype 4b, sont nouvellement identifiées dans la filière porcine.

2. *Salmonella*

- Sérotypage - Les sérotypes Typhimurium et Derby représentent près de 80 % des isolats collectés. Les 2 autres sérotypesidentifiés, Brandenburg et Infantis, sont aussi classiquement retrouvés dans la filière porcine.

- Pulsotypage - 4 pulsotypes de *Salmonella* Typhimurium (notés T1 à T4) et 3 pulsotypes de *Salmonella* Derby (notés D1 à D3) ont été distingués**.**

III. Traçabilité des contaminations

1. *Listeria monocytogenes* – Sur les 34 pulsotypes, 21 étaient directement identifiables au niveau des sites d'abattage-découpe et / ou sur les matières premières à réception. Les autres pulsotypes ont été mis en évidence de façon occasionnelle en cours d'activité et strictement dans des zones de réception de matières premières, de décongélation des matières premières ou de première transformation crue des muscles.

2. *Salmonella* - Les pulsotypes de *Salmonella* Typhimurium (T1 à T4), de *Salmonella* Derby (D1 à D3), de *Salmonella* Infantis (I1) et de *Salmonella* Brandenburg (B1) étaient identifiables au niveau de carcasses et/ou de matières premières à réception.

DISCUSSION / CONCLUSIONS

- Salmonella

Le taux de présence de *Salmonella* sur les surfaces des sites de transformation était d'environ 5% dans l'environnement en cours d'activité et de 5-10 % sur matières premières. Aucune présence de *Salmonella* n'a été observée après les opérations de nettoyage et de désinfection. Les sérotypes rencontrés sont classiquement associés à la filière porcine : Typhimurium, Derby, Brandenburg, Infantis. Le pulsotypage a montré sa capacité à distinguer des souches à l'intérieur d'un sérotype donné. La grande majorité des pulsotypes de *Salmonella* appartenant aux différents sérotypes pouvaient être isolés à partir de carcasses ou de matières premières à réception.

Ainsi, la présence de *Salmonella* sur les sites de transformation*,* d'après la traçabilité établie par typage, est liée à la contamination véhiculée par les matières premières.

- Listeria monocytogenes

Les données produites dans le cadre de cette étude ont montré des prévalences moyennes en *Listeria monocytogenes* dans l'environnement de 4 sites de transformation de la viande de porc de 22 %, avec des niveaux de présence de 32 % sur les surfaces en cours d'activité et de 10 % après nettoyage et désinfection. Ces résultats montrent une nette amélioration de la situation par rapport aux années 1992-1993 (Salvat *et al*., 1995).

Le sérotype 1/2a a montré sa large prédominance. Le pulsotypage a permis d'identifier 34 pulsotypes, classés en cinq groupes : A, B, C, D et N. Si les groupes A, B et C étaient décrits depuis 1996, les groupes D et N (sérotypes 1/2 b et 4b) sont nouvellement décrits dans la filière.

L'étude de la traçabilité des contaminations a montré que la plupart des pulsotypes identifiés en transformation étaient des pulsotypes identifiables au niveau directement des matières premières ou au niveau des sites d'abattage et découpe de porcs.

Tout comme pour *Salmonella*, il apparaît clairement que les matières premières carnées constituent la voie d'apport essentiel de *Listeria monocytogenes* dans les entreprises de transformation de la viande de porc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brisabois A. *et al.* (2001) Inventaire des *Salmonella* 1998, AFSSA.

Giovannacci, I. *et al.* (1999) *International Journal of Food Microbiology* **53**, 127-140.

Salvat, G. *et al*. (1995) *International Journal of Food Microbiology* **25**, 75-81.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié de subventions du Ministère de la Recherche (Programme « AQS 1999 ») et de l'OFIVAL. Les travaux de typage réalisés au CTSCCV ont bénéficié d'investissements matériels réalisés par l'A.S.A (Animal Société Aliment). Les auteurs remercient les entreprises ayant participé à la production des données.

MISE AU POINT D'UNE METHODE DE DENOMBREMENT DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* DANS LES PRODUITS CARNES PAR FILTRATION SOUS PRESSION

D. SOHIER*, M. RANNOU, D. THUAULT

ADRIA, Département Sécurité et Conservation des Aliments, Creac'h Gwen, 29196 QUIMPER cedex

daniele.sohier@adria.tm.fr

***correspondance aux auteurs :* daniele.sohier@adria.tm.fr**

Le dénombrement des germes pathogènes tels que *Listeria monocytogenes* constitue un outil de plus en plus important pour la maîtrise de la sécurité ; cependant, la méthode officielle actuellement en vigueur est souvent insuffisamment sensible pour détecter le faible niveau de *L. monocytogenes* présentes (< 100 UFC/g). La filtration sous pression des suspensions alimentaires constitue une méthode de concentration de ces germes très intéressante.

Mots clés : *Listeria monocytogenes*, analyse, dénombrement, filtration

L'industrie des produits carnés effectue une grande quantité d'analyses microbiologiques, à tous les stades de production. *L. monocytogenes* est un des germes pathogènes les plus fréquemment recherchés ; la difficulté réside dans le fait que, si des *L. monocytogenes* sont détectés dans 25 g de produit, il est rarement possible d'en connaître le nombre, car il est souvent faible (< 100/g). En effet, la méthode de référence pour le dénombrement de *Listeria monocytogenes* (NF EN ISO 11290 – 2) consiste à étaler en surface d'une gélose sélective Palcam 0,1 ml de la suspension - mère (dilution au 1/10 de l'aliment) ou 1 ml de la même suspension réparti sur 3 boîtes. Ce protocole présente un seuil de détection de 100 UFC/g pour un étalement de et 10 UFC/g dans le second, avec une grande incertitude sur ces faibles dénombrements.

Il existe donc un réel besoin de disposer d'une méthode de dénombrement plus sensible afin de pouvoir prendre en compte le nombre de *L. monocytogenes* et non uniquement leur présence ; c'est en effet le seul moyen de mesurer les dangers et évaluer l'efficacité des améliorations mise en place.

Cette étude a permis d'élaborer une méthode de dénombrement de *L. monocytogenes* dans les produits carnés, plus sensible que la méthode de référence. Le gain de sensibilité est basé sur l'utilisation de la filtration sous pression de la suspension-mère, qui permet d'augmenter le volume de suspension dans lequel les *L. monocytogenes* sont dénombrées.

Un protocole du traitement de la suspension-mère a été développé, afin de filtrer sous pression 50 ml de la suspension au 1/10ème de la matrice carnée, soit l'équivalent de 5 g. Puis, la méthode a été validée par :

- une étude de linéarité menée en inoculant artificiellement quatre catégories de produits carnés (pâté, volaille, saucisses, steak haché), par des souches de *L. monocytogenes* à quatre taux (1 - 10, 10 - 100, 100 - 1 000, 1 000 - 10 000 UFC/g).
- une étude de justesse réalisée à partir d'échantillons naturellement et artificiellement contaminés, et en en comparant les dénombrements obtenus aux résultats de la méthode de référence.

La méthode de filtration sous pression s'est avérée 50 à 500 fois plus sensible que la méthode de référence (selon que celle-ci porte sur 0,1 ml ou 1 ml). Elle peut permettre d'analyser environ 20 échantillons par jour, mais cette cadence pourrait être améliorée par une automatisation. Elle offre de nouvelles perspectives à la réalisation de challenge-tests simulant davantage les contaminations naturelles et appliqués à l'estimation de la durée de vie des produits : il est en effet possible d'inoculer faiblement les matrices carnées à tester et de suivre le devenir de faibles populations au cours de la conservation du produit. Enfin, elle peut s'adapter à d'autres micro-organismes pathogènes rencontrés dans le domaine des produits carnés.

Cette étude a reçu le soutien financier de l'OFIVAL (Office National Interprofessionnel des Viandes de l'Elevage et de l'Aviculture), de la FICT (Fédération des Industries Charcutières, des Traiteurs et des Transformateurs de Viande), de l'INTERBEV (Association Nationale Interprofessionnelle du Bétail et des Viandes) et de la FIA (Fédération Française des Industries Avicoles).

Procédés

Animateurs : J-B. GROS (Université Clermont 1)
et J. SIRAMI (ADIV)

Conférence

EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DANS LES FILIERES VIANDES ET ATTENTES DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT DE LA PART DES PROFESSIONNELS

SIRAMI J. , PEYRON A.
ADIV – 2 rue Chappe – 63039 CLERMONT FERRAND Cedex 2

Les évolutions technologiques des dernières années et les attentes des professionnels sont avant tout induites par l'évolution des contraintes que subissent les entreprises avant même la ferme volonté de mieux faire ou d'innover.
Pour traiter de ce sujet sensible, les entreprises que nous avons questionnées ont préféré ne pas trop s'exposer en venant présenter elles même leurs attentes et nous ont donc missionner pour le faire en respectant l'anonymat.

L'EVOLUTION DU CONTEXTE DANS LES FILIERES VIANDES (JEAN SIRAMI)

Le contexte socio-économique du marché en général, et du marché des produits carnés en particulier, est en pleine mutation du fait :

1. de l'évolution des modes de vie et des comportements des consommateurs, ceci se traduit par exemple par une demande de produits « naturels », « sûrs », prêts à l'emploi, se conservant longtemps et éventuellement « festifs » :
   - exigence d'une traçabilité accrue prouvant l'origine, la qualité,
   - exigence de produits plus rassurants d'où l'explosion des démarches labels, AOC, IGP, filières courtes, …,plus naturels et plus diététiques (moins de gras, de sels, …), plus sûrs au niveau microbiologiques, …
   - demande de produits service à cuisson rapide ou à réchauffer,
   - explosion du marché des produits prétranchés.

2. de la désaffection pour les métiers manuels et de ceux de la viande en particulier qui offrent, du fait des exigences réglementaires croissantes, des conditions de travail de plus en plus difficiles et de moins en moins supportées (croissance de l'absentéisme pour tendinite ou autres raisons).
   Cela se traduit par un manque crucial de main d'œuvre amplifié dans les grandes zones de production comme l'Ouest de la France. Ce phénomène est renforcé pour les entreprises par une demande croissante des distributeurs en Unité de Vente Consommateur industrielle (UVCI), car, pour les mêmes raisons, ils ne peuvent ou ne veulent plus préparer ces UVC dans leur magasin. D'où une demande forte de mécanisation/automatisation/robotisation de la part des industriels.

3. des crises concernant l'ESB, les *Listeria*, les Salmonelles, la dioxine, … qui se traduisent par une amplification des exigences en terme de sécurité alimentaire et de traçabilité.
   L'HACCP et les plans de contrôles de plus en plus lourds mise en place dans les entreprises tentent de prévenir le risque ; la traçabilité avale est là pour le minimiser lorsqu'il survient grâce à des rappels de lots, … Ceux-ci sont, hélas, catastrophiques en terme d'image et cette menace fait trembler en permanence les responsables d'entreprises. D'où un besoin exprimé en contrôle rapide en ligne, en maîtrise des contaminations voire en systèmes de décontamination, … La crise de l'ESB a entraîné également la suppression des débouchés des co-produits et farines animales en même temps que l'obligation de les détruire en assurant la sécurité et les exigences en termes d'environnement. Les coûts d'élimination sont maintenant prohibitifs et une forte demande apparaît pour tenter de les réduire.

4. de l'évolution de la concurrence internationale et des mécanismes de régulation (suppression des restitutions, modification de la PAC et accord du GATT, …).
   Ceci se traduit par une chute des exportations (avant de bœuf, cappa, volaille) et une nécessité d'apporter plus de valeur ajoutée en particuliers pour les morceaux les moins nobles : recherches de produits nouveaux, …

5. du pouvoir de plus en plus prégnant des médias et des grands mouvements d'opinion avec leurs conséquences sur les choix politiques, les options de la grande distribution ou même la réglementation.
   On peut citer comme exemple le problème des OGM (exclusion des produits du maïs par certains distributeurs), la crise de l'ESB (désaffectation pour les abats, les sous produits animaux en général), les préoccupations nouvelles sur le bien être animal, …

6. du pouvoir enfin de la grande distribution et de la pression très forte qu'elle exerce légitimement sur deux critères quelquefois antinomiques que sont les prix et la qualité. La concurrence souvent rude entre enseignes induit des exigences à caractère plus opportunistes, qui peuvent apparaître comme moins justifiées.

LES EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES MAJEURES DES DERNIERES ANNEES (JEAN SIRAMI)

Les entretiens avec les responsables dans les entreprises s'orientent naturellement plus vers l'avenir que vers le passé donc plus vers les attentes que vers les acquis.
Néanmoins, concernant ces derniers, nous avons noté les points suivants ::

- l'évolution majeure reconnue par tous est avant tout la rentrée en force de l'informatique dans les usines, dans les ateliers pour la gestion de la production des stocks et surtout la traçabilité ;
- les systèmes de chargement automatiques des poulets et depuis peu des dindes ;
- les nouveaux systèmes de classement des carcasses (porc, bovins) ;
- la réorganisation des salles de découpe pour réduire la pénibilité et assurer la traçabilité (assistance au désossage, traçabilité par bac, tables mobiles, …) ;
- la spécialisation et donc la mécanisation des lignes de production, avec comme exemples marquants : la saucisserie fraîche (lignes NIJAL), le jambon cuit (système KAUFLER de manutention cuisson des moules), les produits secs (automatisation des manipulations en séchoirs par filoguidage), les lignes de tranchage automatisées avec des cadences très élevées, des tranchages à poids constants et des tris pondéraux en ligne ;
- la restructuration formage en lamelle comme la cerise de bœuf, le parfait de charolais, etc., le progrès dans le formage des produits hachés panés ou non ;
- l'utilisation des micro-ondes (915 MHz) ou des hautes fréquences en décongélation-pasteurisation dans l'emballage ;
- la généralisation du sous-atmosphère dans l'ensemble des PME avec un développement de petites machines (BDF, Flow pack, vide réinjection) ;
- les salles blanches pour le tranchage de produits fragiles ;
- au niveau des contrôles, l'apparition d'analyseurs rapides (IR pour la caractérisation chimique, système VIDAS en microbiologie ATPmétrie pour le nettoyage désinfection, …)

LES ATTENTES GENERALES A TOUTES LES FILIERES (ALAIN PEYRON)

Dans le secteur des produits carnés, les évolutions technologiques se poursuivent et portent en priorité suivant la filière sur l'hygiène, la mécanisation-automatisation des opérations d'abattage-découpe.
Secoués par des crises à répétition, les intervenants de la filière viande sont fragilisés. Les investissements de production comme le renouvellement de matériels tendent à marquer le pas. Restent certaines priorités incontournables comme l'automatisation en particulier pour la filière volaille et à degré moindre la filière porc ou comme l'hygiène et la sécurité alimentaire, sur lesquelles se concentrent les innovations. Même si l'industrialisation est hétérogène entre les différentes filières, un point commun demeure à savoir que toutes sont encore grandes consommatrices de main d'œuvre.
Le premier objectif concerne donc les gains de **productivité**. On cherche à mécaniser certaines taches ou opérations pénibles : par exemple l'assistance au désossage des quartiers en filière bovine, ou la machine à lever les pannes de porcs, ou encore l'équipement d'assistance à la dépouille des ovins.
Il est utile de rappeler que dans le cas des bovins, du fait de leur morphologie très hétérogène et lourde la mécanisation des opérations est plus délicate à mettre en œuvre. Les recherches d'automatisation du désossage restent un sujet d'actualité et suscitent un espoir fort de la part des professionnels. Sera t-on un jour capable de reproduire parfaitement la gestuelle de l'opérateur ? ou devrait –on envisager d'autres modes de dèsossage ?

L'automatisation s'est surtout traduite ces 10 dernières années par le développement de l'informatisation en particulier pour permettre une meilleure traçabilité des données de production et ainsi améliorer la productivité, la gestion des rendements et la traçabilté des produits et des opérations. Que ce soit avec des systèmes « maison » ou fourni par une société d'informatique, les logiciels de gestion de production et de traçabilité se sont imposés dans les abattoirs, les unités de découpe et de transformation des viandes.
Ils permettent une identification, un suivi et archivages des lots, des tonnages correspondants et des paramètres de fabrication.

L'Hygiène est la deuxième exigence d'un secteur très sensibilisé aux problèmes de **sécurité alimentaire**. Malgré les fréquences des contrôles qui ont été multipliés par 10 ces 3 ou 4 dernières années, le risque demeure.
La demande des opérateurs de la filière porte sur des équipements ayant bénéficié d'une conception « hygiénique » voire même de l'adjonction d'un système de nettoyable en place.

L'aptitude au nettoyage désinfection doit être testé et validé avant toute mise en service ce qui fait partie des procédures de qualification des performances.
Dans la filière des ruminants, la sécurisation des opérations au niveau des abattoirs est une priorité pour lutter contre les risques ESB ; les études ont porté par exemple sur la mise en place de machine à aspirer la moelle épinière sur carcasse entière ou encore les systèmes de ligature mécanisé de l'œsophage (herbière) de bovin..
Le consommateur et le distributeur ont besoin d'être rassurés, il faut donc fournir de plus en plus de garanties.

Ce phénomène prendra de plus en plus d'importance avec l'élaboration de plus en plus poussé des produits. On sait en effet que dans les 2 ans qui viennent les professionnels seront dans l'obligation en particulier dans les secteurs porc et bovin de développer le piécé et la portion individualisé.

Cette **élaboration « précoce »** des produits aura plusieurs conséquences pour la filière, à savoir :

- une maîtrise impérative des conditions de travail,
- un besoin d'évaluer de façon prédictive la qualité et la « conservabilité » des produits au sens bactériologique et de la présentation (couleur),
- un impératif de maîtrise de la chaîne du froid et de la logistique. Un témoin de non rupture de la chaîne du froid serait souhaité pour apporter une sécurité supplémentaire au consommateur.
- Un plus grand besoin de valorisation des différentes chutes de découpe et parage à l'instar de la filière volaille qui doit impérativement valoriser ses co-produits d'élaboration.
- un besoin supplémentaire de contrôle rapide comme la détection polyvalente et sensible de différents corps étrangers.

L'autre priorité du secteur concerne **l'amélioration des conditions de travail** dans les ateliers.
La pénibilité des tâches dans les industries d'abattage et de transformation reste un handicap important.
D'une part cette pénibilité est responsable de maladies professionnelles très coûteuses (TMS) et d'autre part elle contribue à rendre peu attirante une profession confrontée à d'énormes difficultés de recrutement, ce qui peut poser à court terme des problèmes de croissance.
Certains équipements tentent donc de pallier cette difficulté et il faut reconnaître que dans ce domaine c'est bien le secteur volaille qui a le plus progressé dans l'automatisation-mécanisation des tâches.
En fait, les gains de productivité ne sont plus liés aux rendements matières mais sont à trouver dans l'organisation du travail.
Une réflexion est à mener secteur par secteur pour optimiser l'organisation du travail des ateliers de découpe.
La cadence des opérations doit être réglée poste pas poste et non plus sur celle de l'opérateur le moins performant. L'organisation du travail doit mener à des gestes plus variés.
L'objectif est de décortiquer tous les temps de travail, tous les gestes afin de déterminer les meilleures implantations de machines possibles, les meilleurs flux permettant de gagner en productivité. Cette approche est très forte dans l'industrie mécanique et moins évidente dans l'agroalimentaire et particulièrement dans la filière viande ou l'on garde une forte orientation produit.

Bien entendu d'un secteur à l'autre il existe des particularités qui sont détaillées dans les 3 parties qui suivent.

LES ATTENTES SPECIFIQUES A LA FILIERE BOVINE (Alain PEYRON)

Le secteur bovin a besoin d'une plus grande sécurité à la sortie de l'abattoir surtout pour la transformation en viande hachée. Les professionnels restent très demandeurs de « technologies innovantes de décontamination afin de sécuriser les carcasses avant les opérations de transformation ». La réglementation l'interdisant, trouvera-t-on un jour un terrain d'entente sur ce sujet afin de lancer des recherches vraiment approfondies pouvant déboucher sur des réalisations concrètes.
Sous l'effet de la demande des GMS on s'oriente vers une élaboration de plus en plus précoce des produits. Ce secteur devrait donc vivre une évolution sensible dans l'organisation de ses ateliers de désossage, de découpe et de transformation des viandes car il est aussi vraisemblable que des initiatives de mise au point de nouveaux produits (valorisation des chutes et des quartiers avant) se développent de plus en plus dans les prochaines années.
On pense notamment à l'élaboration du produit prêt à consommer sous différentes formes, produits de grignotage, apéritif (snack), sandwich, mariné, « reconstitué», …
Il est important pour cette filière de sortir de la viande classique pour faire évoluer son image. De toute évidence son avenir est compromis si la seule perspective de valorisation reste le steak haché.
La traçabilité peut aussi évoluer vers de meilleures performances : ex : remplacement des documents papier par des puces électroniques.
La réglementation doit s'adapter et faire preuve de réalisme. Car pour cause d'ESB et au nom du principe de précaution, l'opérateur travaille aujourd'hui avec une véritable panoplie (lunettes et couteaux rouges, …) ce qui entraîne inévitablement une suspicion évidente du personnel opérateur. Quand on connaît la difficulté de trouver du personnel, on comprend mieux l'intérêt de mener une réflexion et une communication adaptées.

LES ATTENTES SPECIFIQUES A LA FILIERE PORCINE (ALAIN PEYRON)

Le secteur porc est devenu en 10 ans un véritable secteur industriel où l'économie d'échelle est indispensable pour exister.
80% des tonnages abattus se concentrent sur quelques abattoirs spécialisés de Bretagne et de Pays de Loire.
La transformation est beaucoup plus éclatée mais les opérateurs de l'aval se sont généralement spécialisés par produit et de fait fortement mécanisés.

On recense des innovations sur le classement et la traçabilité, et l'effort porte actuellement sur l'amélioration des postes et conditions de travail qui ont pour but d'améliorer l'ergonomie, la productivité et la qualité du produit.
Des réflexions sont en cours sur l'anesthésie. Les opérateurs interrogés mènent une réflexion sur l'intérêt de l'anesthésie au CO_2 qui selon eux diminuerait le pourcentage de muscle à bas pH et de jambons dits « pommade ».
La volonté des opérateurs est d'aller vers la qualité des produits.
Le secteur du porc n'échappe pas à la vague de l'élaboration de plus en plus poussé pour répondre à la demande des industriels et des GMS. D'ici un à deux ans, il sera même indispensable d'aller jusqu'au bout, c'est-à-dire aller vers la viande en barquette toute élaborée. Une réflexion esl des procédés sera nécessaire pour la conservation des marges.
La difficulté est d'autant plus grande que par rapport à certains pays du Nord nos produits ont une variabilité plus grande.
En terme de produits élaborés, l'évolution de ces dernières années s'est faite vers le rayon Libre Service et les plats cuisinés ; les perspectives de développement vont vers des portions consommateurs, les salades, traiteur, les unités sandwich, les produits apéritif.

LES ATTENTES SPECIFIQUES A LA FILIERE VOLAILLE (JEAN SIRAMI)

La crise générale des filières volaille n'est pas propice à l'expression des besoins en recherche procédé ; on note cependant les mêmes soucis d'améliorer la productivité et donc la compétitivité mais aussi de réduire la pénibilité voire d'automatiser certains postes (bridage des pattes et des cous de poulet, désossage de la dinde).
Des problèmes qualitatifs sur la viande (viandes à faible pouvoir de rétention d'eau pour l'utilisation en produits cuits) génèrent des attentes en terme de système de tri (ou de prédiction) en ligne et en terme de procédé améliorant la qualité de la viande (chargement des camions/anesthésie).
Un autre problème résiderait dans la tendreté de la viande de poulet lors de la découpe précoce ce qui demanderait peut être des recherches en terme d'adaptation des procédés.
Le manque de main d'œuvre, en particulier pour des postes particulièrement difficiles en terme de conditions de travail (accrochage des volailles) ainsi que les nouvelles exigences de la directive européenne en terme de bien être animal obligent à rechercher des solutions alternatives à l'accrochage des volailles vivantes suivie aujourd'hui d'une électronarcose : d'où les recherches et les attentes en terme d'anesthésie par étourdissement gazeux.
Enfin la difficulté de revaloriser certaines parties comme les pilons et les VSM entraîne des besoins de recherche de nouvelles voies de valorisation (nouveaux produits, nouveaux process).

CONCLUSION – PRESENTATION DES COMMUNICATIONS ET POSTERS (JEAN SIRAMI)

Les thèmes abordés dans l'atelier Procédé se retrouvent bien évidemment tous en adéquation avec une ou plusieurs des attentes exprimées ci-avant ou des acquis marquant ces derniers années.

- La machine à classer les bovins permettra dores et déjà de moraliser et de rendre homogènes les classements ; mais des développement futurs doivent permettre la prédiction du rendement en muscle pour améliorer la productivité. Les industriels en attendent aussi une prise d'information utile pour un éventuel robot de désossage.
- Différentes techniques de mesure de la qualité des muscles ou des produits intermédiaires sont étudiées :
  - l'analyse d'image pour la qualité de la truite fario et la distribution du collagène dans les muscles bovins,
  - la vision numérique pour mesurer la couleur des filets de dinde,
  - la vidéocapture pour le tri des jambons PSE,
  - la spectroscopie de fluorescence pour la tendreté de la viande ou la texture des pâtes fines,
  - la spectroscopie proche infrarouge pour la qualité de la viande de porc.
- L'effet de procédés sur la qualité des produits concernés ou l'optimisation de ces effets sont également étudiés
  - comparaison de 3 méthodes d'étourdissement gazeux des dindes.
    Afin de répondre aux exigences de bien être animal et d'améliorer les conditions de travail, on étudie la meilleure technique qui permet de conserver une bonne qualité de carcasse.
  - effet du conditionnement sur la stabilité de la couleur de la truite arc en ciel fumée.
    DLC oblige, il faut conserver un aspect optimum au produit pendant le plus longtemps possible.
  - effet des hautes pressions sur la réaction entre la cathepsine D et les myofibrilles bovines.
  - optimisation de la qualité sensorielle des pâtes fines par la méthode du Simplex.
- Des outils amont sont créés pour l'optimisation ou la mise au point de procédés :
  - modélisation des transferts thermiques dans un jet d'air chaud en vue de la décontamination des viandes.

Ce modèle doit être utilisable pour l'utilisation de l'air chaud comme mode de décontamination.

- utilisation d'un modèle de transfert de chaleur et matière couplé avec un modèle de croissance microbiologique pour optimiser un procédé utilisant l'air.
  Il s'agit de prédire l'efficacité de procédé où l'air peut être un facteur de maîtrise de l'Aw en surface d'un produit et donc de prédire la stabilité microbiologique de celui-ci.
- Analyse numérique de l'aéraulique d'un séchoir à charcuterie
  Il s'agit de modéliser la répartition de l'air en régime instationnaire correspondant à ce qui se passe industriellement afin d'optimiser à terme le fonctionnement de séchoir et donc la qualité des produits finis.
- l'estimation des propriétés d'équilibre dans les procédés de transformation ou de conservation des produits carnés par une méthode de contribution de groupe.
  Plus en amont encore, ces modèles peuvent permettre une estimation des propriétés d'équilibre entre les aliments et l'environnement afin de mieux maîtriser les procédés.

- Une étude prospective sur la possibilité de faire produire des arômes à des souches sauvages de *Penicillium* isolées de la peau de saucissons secs.
- Enfin l'application de la déshydratation osmotique pour l'obtention de viandes séchées en couche « mince ».
  Il s'agit d'un procédé nouveau permettant d'obtenir des viandes séchées stables à partir de morceaux habituellement mal valorisés et donc d'apporter de la valeur ajoutée.

Procédés

Animateurs : J-B. GROS (Université Clermont 1)
et J. SIRAMI (ADIV)

Communications orales

MACHINE DE CLASSEMENT DES CARCASSES DE GROS BOVINS SUIVANT LA GRILLE EUROP

NICOLAS C., LEBERT A.
Station de Recherches sur la Viande - INRA, Centre de Clermont-Ferrand-Theix - 63122 Saint-Genès Champanelle, France

Du fait de son faible coût, le classement visuel des carcasses de gros bovins a été utilisé depuis de très nombreuses années comme base des différents systèmes de classification utilisés dans de nombreux pays. Cependant, la qualité du classement dépend notamment de l'expérience du classificateur, de la nature et de la différence entre les échelons des grilles visuelles utilisées, du contexte dans lequel l'évaluation est faite, de la plus ou moins grande diversité des carcasses jugées, …

En Europe, les carcasses de gros bovins sont évaluées selon la grille EUROP (Directive européenne 1208/81et Directive européenne 2930/81) sur deux critères : la conformation et l'engraissement. La conformation – qui correspond au développement musculaire - est évaluée en premier sur une échelle comprenant six échelons SEUROP : la classe S correspondant à un développement musculaire exceptionnel et la classe P à un développement musculaire insuffisant. La définition de la conformation se fait par rapport à des images de référence et à des profils musculaires. L'engraissement est ensuite exprimé dans une échelle à 5 échelons 12345 : la classe 1 correspondant à un animal très maigre et la classe 5 à un animal très gras. L'évaluation de l'engraissement se fait principalement en considérant les dépôts de gras sur la cage thoracique. La réglementation européenne permet, pour des usages nationaux, de subdiviser les deux échelles de conformation et d'engraissement ce qui est le cas en France, où chaque classe est subdivisée en 3 sous-classes (+, = ou -). Cette classification, combinée d'une part au poids et d'autre part à la catégorie de l'animal (jeunes bovins, taureaux, bœufs, vaches et génisses), est la base de la rétribution de l'éleveur.

Le classificateur de l'abattoir est entraîné à juger les carcasses de gros bovins suivant la grille EUROP. Afin d'unifier et contrôler le système de classification au sein de l'Union Européenne, différents niveaux de vérification existent au niveau national et communautaire. Cependant, le classement peut être faussé pour de nombreuses raisons : une carcasse moyenne au milieu de mauvaises carcasses est toujours sur-évaluée, le classificateur est habitué à un certain type de carcasses et évalue mal les autres, le classificateur se fatigue tout au long de la journée de travail, etc.

Depuis le début des années 90, plusieurs pays européens (Danemark, Allemagne et France) ont développé des systèmes automatiques de classement des carcasses de gros bovins en utilisant des techniques d'analyse d'images. En France, la société NORMACLASS a développé la MAC (Machine à Classer) afin d'éliminer les imperfections dues au système d'évaluation visuelle et prévoir le rendement en muscle des carcasses. La machine (Figure 1) a comme principales caractéristiques /1/ d'utiliser un fond noir pour éliminer tout reflet parasite, /2/ de pas avoir de sonde invasive pour évaluer l'engraissement, /3/ de posséder 6 caméras couleur et un support rotatif qui permet de photographier les carcasses sous différents angles, /4/ d'évaluer la forme en 3 dimensions de la carcasse à partir de trois vues : profil, ¾ et face et /6/ de pouvoir classer les carcasses même lorsqu'elles sont endommagées et /5/ de prendre une vue de la face interne d'une des deux demi-carcasses.

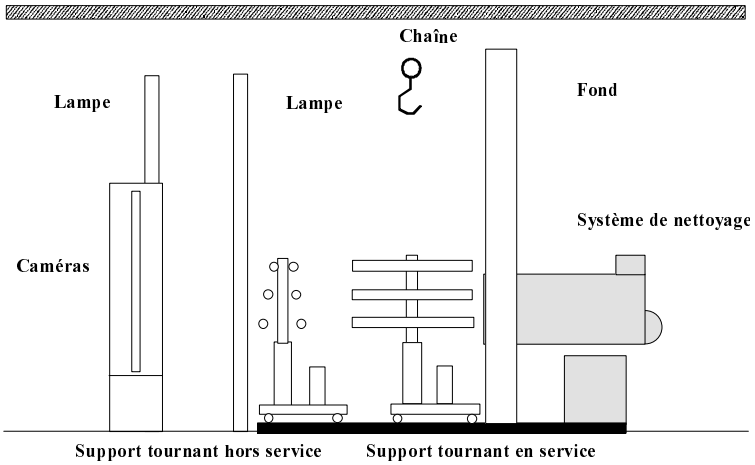


Fig. 1: Vue de profil de la machine Normaclass

Le système étant placé à faible distance (2 m) de l'axe de la chaîne de convoyage des carcasses, la machine prend pour chaque vue une photo haute et une photo basse de la carcasse, soit en tout 8 photos. L'analyse des images permet d'extraire des informations telles que longueurs, surfaces ou volumes qui sont utilisées pour la prévision de la conformation et de l'engraissement. Les carcasses analysées par la machine doivent être présentées selon la réglementation européenne (Directive européenne 2930/81) à l'exception de la queue et de l'onglet qui sont toujours présents. La machine peut juger jusqu'à 150 carcasses par heure.

En 1996, les autorités françaises chargées de l'application de la réglementation européenne ont sollicité l'INRA afin d'évaluer les performances de la machine développée par la société NORMACLASS. Une expérimentation (Tableau I) a permis de faire juger des carcasses de gros bovins selon la grille EUROP (échelle à 18 échelons pour la conformation et 15 échelons pour l'engraissement) par 3 experts, 2 classificateurs et la machine NORMACLASS.

TABLEAU I: Nombre de carcasses analysées pour chaque catégorie de gros bovins, année par année

Année	Jeunes bovins	Taureaux	Bœufs	Vaches	Génisses	Total
1996	1 518	24	165	775	324	2 806
1997	1 538	38	371	1 058	367	3 372
1998	106	5	69	292	540	1 012
2002	1 271	32	332	897	160	2 692
Total	4 433	99	937	3 022	1 391	9 882

Afin de s'assurer de la continuité dans le temps du classement de la machine, l'expérimentation s'est déroulée sur plusieurs années (1996 à 1998 et 2002) et sur plusieurs sites. Elle a permis d'évaluer une grande diversité de carcasses, la machine étant placée soit avant, soit après le poste d'émoussage. Les données ont été séparées en cinq bases de données, une par catégorie (Tableau II).

TABLEAU II : Répartition des carcasses dans les cinq bases d'apprentissage

		Conformation						Total	%
		S	E	U	R	O	P		
Engraissement	1		1	1	5	8	69	84	4.3
	2	4	18	107	155	123	173	580	59.5
	3	6	33	254	358	236	197	1 084	55,0
	4		2	24	77	64	42	209	10.6
	5			1	4	7	3	15	0.8
Total		10	54	387	599	438	484	1 972	
%		0.5	2.7	19.6	30.4	22.3	24.5		100.0

Chaque base a été ensuite subdivisée en trois parties : une pour l'apprentissage, une pour la validation et une pour de futures applications. Le jugement de synthèse des trois experts de chaque carcasse des bases d'apprentissage a été transmis à la société NORMACLASS pour qu'elle puisse établir les relations entre jugements et paramètres extraits des images. Puis, NORMACLASS a communiqué à l'INRA les jugements de la machine pour les animaux des bases de validation. Sur les bases de validation, deux séries de comparaisons ont été faites : classificateurs versus experts et machine versus experts pour la conformation et l'engraissement. Le Tableau III montre les résultats de la machine pour les bases de validation. Ceux sont satisfaisants dans la mesure où les résultats des classificateurs par rapport aux experts sont au mieux des performances égales à celles de la machine.

TABLEAU III: Comparaison entre les jugements de la machine NORMACLASS et ceux des experts selon la grille EUROP (la conformation et l'engraissement sont jugées au 1/3 de classe)

		Différences entre les jugements de la machine NORMACLASS et ceux des experts (exprimées en tiers de classe)						
		0	± 1/3	± 2/3	± 3/3	± 4/3	± 5/3	± 6/3
Conformation	Nombre de carcasses	437	274	65	6	1	0	0
	Pourcentage	44,50	48,11	6,63	0,61	0,10	0,00	0,00
	Pourcentage cumulé	44,5	92,6	99,2	100,0	100,0	100,0	100,0
Engraissement	Nombre de carcasses	244	426	231	68	10	2	0
	Pourcentage	24.87	43,43	23,55	6,93	1,01	0,20	0,00
	Pourcentage cumulé	24,9	68,3	91,8	98,8	99,8	100,0	100,0

Conclusion

La machine NORMACLASS apparaît donc comme une solution aux problèmes évoqués précédemment. Des développements sont en cours afin d'utiliser cette machine pour prévoir le rendement en muscles pour chaque quartier et sous-quartier (collier, épaule, caparaçon, déhanché et cuisse).

ETUDE DE LA DISTRIBUTION DES TISSUS ET DE LA QUALITE DE LA CHAIR DANS LA TRUITE FARIO PAR ANALYSE D'IMAGE COULEUR.

P. MARTY-MAHE[1], P. LOISEL[1], B. FAUCONNEAU[2], P. HAFFRAY[3], D. BROSSARD[1]

[1] Equipe PAIC URE TERE Cemagref , avenue de Cucillé, CS 64427, 35044 Rennes Cedex
pascale.marty-mahe@cemagref.fr, tél : 02 23 48 21 21, fax : 02 23 48 21 15
[2] INRA, Station SCRIBE Campus de Beaulieu 35042 Rennes Cedex
[3] SYSAAF Station SCRIBE Campus de Beaulieu 35042 Rennes Cedex.

Résumé
Nous avons étudié par analyse d'image couleur, la distribution des différents tissus et de la couleur de la chair dans la truite d'élevage en fonction de l'amélioration génétique et la composition de l'alimentation. Nous avons développé un système de vision couleur pour caractériser les tissus de la truite. Des méthodes de segmentation sont appliquées pour localiser les différents tissus, mesurer leur surface et leur couleur. Ces caractéristiques sont comparées au taux de lipides mesuré dans la chair par méthode chimique et par RMN.

Mots clés : Vision; analyse d'image couleur; segmentation; contrôle qualité; truite fario; tissus adipeux; couleur; muscle.

Introduction

Le syndicat des sélectionneurs avicoles et aquacoles français (SYSAAF) et le département hydrobiologie et faune sauvage de l'INRA étudient le développement de la truite fario élevée en mer en fonction des améliorations génétiques et de la composition de son alimentation. Ils veulent évaluer les effets de la sélection génétique et de la teneur en lipide de l'alimentation sur la qualité de la chair du poisson en vue de disposer d'éléments sur son aptitude à la transformation. Dans ce cadre, ils ont demandé au Cemagref de développer deux méthodes basées sur l'IRM et sur la vision numérique couleur pour étudier le taux de lipide et la distribution des différents tissus et la distribution de la couleur dans les différentes parties du poisson. Dans ce but un système de vision couleur a été développé pour rechercher et mesurer les caractéristiques visuelles de la truite fario en relation avec les caractéristiques génétiques et la composition de l'alimentation des lots d'animaux. Un système de vision couleur a été développé et calibré et des méthodes de segmentation permettent de localiser automatiquement les différents tissus dans les darnes de truites et de mesurer leur surface et leur couleur. Les résultats obtenus par analyse d'image sont comparés aux taux de lipides mesurés chimiquement et estimés par mesures RMN. L'analyse d'image couleur fournit des informations pertinentes sur le développement des différents tissus et sur l'effet de l'alimentation sur le développement morphologique des truites.

Matériels et méthodes

Les animaux

Les expérimentations ont porté sur 48 truites fario de 27 mois de deux lignées, une lignée de contrôle et une lignée sélectionnée. Ces animaux ont été alimentés avec deux régimes contenant 16% de lipides et 26% de lipides pendant les 4 derniers mois de leur croissance en mer à la station de expérimentale marine IFREMER-INRA à Camaret. Les aliments ont été pigmentés avec 40 ppm d'astanxantine pendant les 12 derniers mois d'élevage en mer. Après abattage les animaux ont été saignés et transportés dans les laboratoires du Cemagref où les mesures ont été effectuées 48 heures après abattage. Les animaux ont été découpés en darnes (figure 1), 6 darnes ont été étudiées par analyse d'image couleur.

Développement d'un système de vision couleur

Un système d'acquisition d'images couleur spécifique a été élaboré pour obtenir des images couleur des darnes. Ses spécificités résident dans l'éclairage et la méthode de calibrage du système d'acquisition d'image.
Le réglage du dispositif permet d'obtenir des pixels dont la taille est de 0,3 mm sur 0,4 mm.
Ce système a été calibré de façon à fournir à partir des images RGB (Rouge, Vert, Bleu) du système des images couleur dans un espace couleur standardisé CIE L*a*b*.

Les traitements d'image couleur

Des algorithmes de traitement d'images ont été développés pour segmenter automatiquement dans la darne de truite d'une part la peau, les tissus adipeux de périphérie et des épines dorsale et ventrale, les muscles rouges et le muscle blanc chair. De plus, des développements de traitements d'image ont été réalisés pour segmenter dans la chair la partie muscle blanc colorée et les tissus des myoseptes (fig 1).

Fig 1 Segmentation des myoseptes par la méthode du calcul du maximum du gradient sur les lignes diagonales de l'image L*

Fig 2 Segmentation des tissus adipeux de périphérie, des muscles rouges et de l'arête

Dans l'image C (saturation) filtrée par un filtre médian, les tissus adipeux de périphérie, les muscles rouges et l'arrête centrale sont extraits par un seuillage constant et par une analyse des composantes (fig 2).

Mesures effectuées sur les images segmentées

La couleur du muscle blanc (comprenant ou non les myoseptes) est mesurée sur l'ensemble de la darne en coordonnées colorimétriques L*, a*, b*, H (teinte), C (saturation), a*/b*

Les surfaces de myoseptes sont mesurées sur l'ensemble de la darne, pour les différentes méthodes de segmentation *Profil*, *Kmean*, *Kmean&Profil*. Les surfaces des zones adipeuses de périphérie et des muscles rouges sont mesurées et rapportées à la surface de la darne.

Résultats

Le régime des animaux a un effet très significatif sur la luminance L* de la chair incluant ou non les myoseptes des darnes entières. Pour le régime alimentaire R16 pauvre en lipides (16%), la chair des darnes est significativement plus sombre (L* plus faible) que pour le régime R26 riche en lipides (26 %). Les surfaces relatives des myoseptes extraits par la méthode *Profil* sont plus importantes pour les animaux alimentés avec un régime riche en lipide (26%)

Le régime a un effet assez significatif sur les surfaces des tissus de périphérie, ces surfaces étant plus importantes pour le régime R26 que pour le régime R16 et également plus importantes dans la darne A4 que dans la darne A1.

Les luminances L* de la chair comprenant les myoseptes ou de la chair seule sont corrélées aux taux de lipides contenus dans la chair dosés par la méthode Soxthlet et par mesure RMN dans la chair broyée des darnes (Toussaint et al. 2002) (r=0.76 et r=0.75). Les surfaces de myoseptes segmentés par la méthode *Kmean&Profil* et par la méthode *Profil* sont également corrélées au taux de lipides (r=0.72 et r=0.65)

Les darnes dont la chair est la plus grasse ont également des surfaces de tissus adipeux de périphérie au niveau ventral et dorsal plus importantes (r=0.588, r=0.582) Par contre, les surfaces de muscles rouges sont liées négativement au taux de lipides de la chair (r=-0.51 et r=-0.59) et aux surfaces de tissus adipeux de périphérie au niveau ventral (r=0.582). Les surfaces de tissus adipeux au niveau ventral et au niveau dorsal sont liées entre elles (r=0.88).

Discussion et conclusion

La value L* de la chair décroît avec la teneur en lipide de l'alimentation. On observe un gradient antéro-postérieur de L* et une hétérogénéité du dépôt du pigment à la surface de la darne. Bien que la taille des pixels soit une limitation de la méthode par vision pour les segmentations des myoseptes, les résultats mettent en évidence une influence de la teneur en lipide sur les surfaces de myoseptes. Les résultats mettent également en évidence l'effet de l'alimentation sur le développement des muscles rouges et des tissus de périphérie, le régime à haute teneur en lipide provoque un développement plus important des tissus adipeux de périphérie ce qui peut causer des problèmes aux transformateurs lors des processus de transformation ou de fumage. La composante L* est un bon prédicteur de la teneur en lipide du muscle, la composante C* et la surface de myoseptes améliorant le modèle de prédiction. Ces résultats ont été comparés à des mesures chimiques de référence, RMN (Toussaint et al. 2002) ou IRM. Cette étude montre que la vision et l'analyse d'image peuvent donner des informations préliminaires pour des applications dans l'industrie. Par ailleurs, ces méthodes ont été testées succinctement, avec succès, sur d'autres espèces de poisson.

Références

Toussaint C.A, Médale F., Davenel A., Akoka S., Haffray P., Fauconneau B., 2002. Determination of the lipid content in fish muscle by a self-calibrated NMR relaxometry method : Comparison with classical chemical extraction methods. J. Sci. Food Agric., 82, (2), 173-178.

ANALYSE NUMERIQUE DE L'AERAULIQUE D'UN SECHOIR A CHARCUTERIE : CAS D'UN CYCLE DE VENTILATION SINUSOÏDAL D'AMPLITUDE 60%/40%

P.-S. MIRADE
INRA-Theix, SRV-Génie des Procédés, 63122 ST GENES CHAMPANELLE

Introduction

Dans un séchoir à charcuterie, l'air, vecteur des échanges de matière et de chaleur, conditionne, par ses caractéristiques locales (température, hygrométrie, vitesse et turbulence), le bon déroulement du séchage. Dans le cas du saucisson, une vitesse de séchage trop élevée conduit à un croûtage. A l'inverse, une vitesse de séchage trop faible provoque l'établissement d'une couche épaisse et poisseuse sur la surface. Ces deux états nuisent à la qualité gustative finale du produit. Une étude a montré que beaucoup d'accidents de fabrication du saucisson sec étaient imputables à un mauvais contrôle des conditions de séchage. Ainsi, la connaissance de la répartition de la ventilation au sein des séchoirs industriels devient essentielle.

Les séchoirs à charcuterie modernes ont une géométrie relativement simple : outre leur forme parallélépipédique, l'introduction de l'air est assurée par des buses fixées à deux gaines disposées sur chaque paroi latérale longitudinale et la reprise s'effectue en plafond au moyen de bouches d'aspiration. Par contre, le pilotage de ces séchoirs industriels est complexe. En effet, de façon à assurer une homogénéité de séchage, ils présentent : un fonctionnement intermittent où des périodes ventilées à vitesse élevée et à air 'sec' alternent avec des périodes de repos et une ventilation alternée, pendant laquelle, tout en conservant un débit d'air introduit dans le séchoir constant et égal à 100%, le débit dans chacune des deux gaines de soufflage varie autour de 50% entre une limite basse et une limite haute (cette technique est appelée 'Balayage alternatif' - Figure 1 : cas d'un cycle de ventilation sinusoïdal d'amplitude 60%/40%). L'homogénéité de la vitesse de l'air pendant la période de ventilation est directement liée aux valeurs de ces limites qui, selon la pratique industrielle, dépendent de la géométrie et des conditions d'utilisation du séchoir.

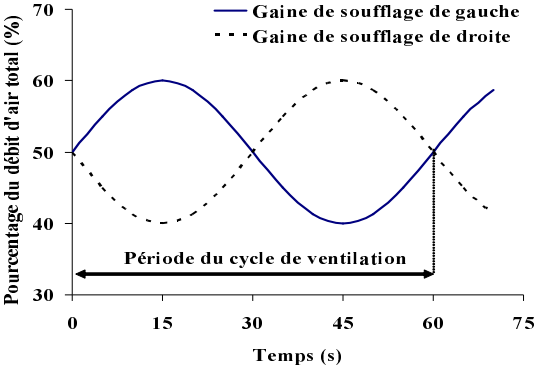


Figure 1 : Schéma d'un cycle de ventilation supposé sinusoïdal et d'amplitude 60%/40%.

Une première approche expérimentale et des travaux de modélisation numérique en conditions limites stationnaires avaient révélé quelques éléments déterminants sur l'aéraulique de ces séchoirs, sans toutefois, permettre de réellement appréhender leur dynamique de fonctionnement. Dans un petit séchoir industriel, la présente étude s'attache donc, au moyen d'une modélisation numérique 2D en conditions limites instationnaires réalisée avec le code FLUENT, à apprécier, sur un cycle complet de balayage alternatif supposé de forme sinusoïdale et d'amplitude 60%/40%, cette dynamique de fonctionnement, au travers de l'homogénéité du champ de vitesse dans la zone occupée par les saucissons.

Matériels et méthode

La figure 2 décrit la géométrie, le principe de fonctionnement et le chargement du séchoir moderne qui a servi de support à l'étude numérique présentée dans ce travail. Dans ce séchoir à ventilation alternée de 2,45 m de large et de près de 3 m de haut, l'air est introduit par 2 gaines disposées sur les côtés et comprenant chacune 8 buses de soufflage ; la reprise de l'air s'effectue en plafond par 20 bouches d'aspiration réparties sur 2 gaines. Dans la simulation, le remplissage du séchoir a été pris en compte au moyen de 24 'gros' saucissons.

Le code de calcul industriel en mécanique des fluides numérique FLUENT a été utilisé pour faire cette étude. Un maillage non structuré bi-dimensionnel de 25500 cellules triangulaires, correspondant à la configuration géométrique décrite sur la figure 2, a été créé. A partir de ce maillage, un modèle numérique intégrant une fonction utilisateur, pour tenir compte de l'évolution sinusoïdale '60/40' des conditions de vitesse au soufflage de la figure 1, a été mis au point. Pour les calculs, l'écoulement a été supposé instationnaire, incompressible, isotherme et turbulent. Des tests préliminaires ont permis d'établir à 0,02 s le pas de temps nécessaire à une bonne convergence des calculs, soit 3000 pas à résoudre pour simuler un cycle complet de balayage alternatif de 60 s. Une étude de sensibilité a montré que la turbulence de l'écoulement loin des parois n'était bien prise en compte qu'au moyen d'un modèle à 6 équations (le 'Reynolds Stress Model'). Outre un module de vitesse fixé à chaque pas de temps par la fonction utilisateur, un taux de turbulence de 3% a été

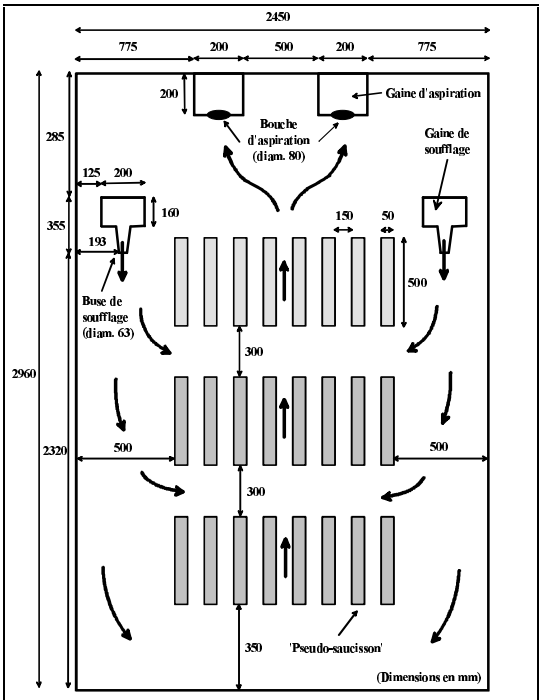


Figure 2 : Géométrie selon une coupe verticale du séchoir à saucisson.

imposé aux extrémités des buses de soufflage. Au niveau des sections de sortie, une condition de type 'sortie libre' a été appliquée. La résolution des calculs a été effectuée sur un PC PIV 2,2 GHz doté de 1,5 Go de RAM et a nécessité 12 heures pour traiter le cycle complet de 60 s.

Résultats et discussion

Compte tenu du nombre important de données (3000 pas de calcul, 200 fichiers d'enregistrement), il est impossible dans ce document de détailler les champs instantanés de vitesse obtenus durant le cycle complet de ventilation. Ne sera donc présenté que le champ moyen de vitesse résultant de ce cycle, qui est une première information utile pour analyser le traitement des produits.

La figure 3 donne selon une coupe verticale du séchoir l'évolution de la répartition de la moyenne des vitesses d'air calculée sur un cycle de ventilation sinusoïdal d'amplitude 60%/40%. Elle rend compte d'une répartition symétrique du champ moyen des vitesses par rapport au plan médian du séchoir. Cela dénote d'une bonne prise en compte de la dynamique de fonctionnement du procédé par le modèle numérique instationnaire.

Globalement, les moyennes les plus élevées sont situées à proximité des 2 buses de soufflage (largeurs de 275 et 2175 mm), ainsi qu'en partie basse du séchoir (hauteurs inférieures à 250 mm). Dans la zone occupée par les saucissons (délimitée par un cadre noir sur la figure 3), les vitesses d'air moyennes sont plus faibles et relativement hétérogènes (l'écart-type est de 0.2 $m.s^{-1}$). Une analyse plus détaillée de la répartition des vitesses dans la zone où sont placés les produits révèle une distribution assez homogène sur la largeur du séchoir (pour une hauteur donnée), mais par contre, une stratification nette en fonction de la hauteur. Ces résultats sont cohérents avec le fait d'observer, en pratique, un séchage plus intense des produits situés en partie haute, dans un séchoir *a priori* bien réglé.

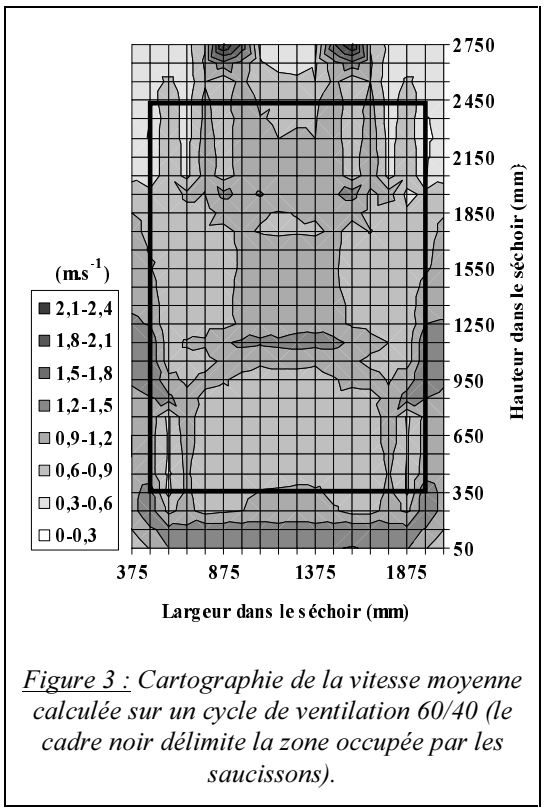


Figure 3 : Cartographie de la vitesse moyenne calculée sur un cycle de ventilation 60/40 (le cadre noir délimite la zone occupée par les saucissons).

Néanmoins, ces résultats numériques doivent être analysés avec précaution, car les modèles construits sont 2D. Les objets matérialisant le remplissage du séchoir interagissent donc très fortement avec l'écoulement de l'air, en jouant même un rôle de barrière. Sur ce point, la construction de modèles 3D couplée à des campagnes de mesures *in situ* devrait apporter des réponses claires et accroître l'intérêt industriel de ce travail.

Conclusion

Ce travail, qui relate l'appréciation de l'homogénéité de la vitesse de l'air pendant un cycle complet de balayage alternatif au moyen d'une modélisation instationnaire, constitue une approche innovante dans la manière d'appréhender le fonctionnement complexe des séchoirs modernes à ventilation alternée. Les résultats aérauliques obtenus permettent de comprendre les défauts de fabrication régulièrement observés *in situ*. Dans une optique d'optimisation du séchage des saucissons et surtout, d'aide au pilotage des séchoirs industriels, la mécanique des fluides numérique est donc un outil à fort potentiel.

APPLICATION DE LA VISION NUMERIQUE A L'ANALYSE DE LA COULEUR DES FILETS DE DINDE EN VUE DE LEUR TRI POUR LA TRANSFORMATION.

I. SEBASTIAN[1], V. SANTE[2], G. LE POTTIER[1], P. MARTY-MAHE[3], P. LOISEL[3] D. BROSSARD[3] et G. MONIN[2].

[1] **Comité Interprofessionnel de la Dinde française (CIDEF), 35310 Mordelles, France**

[2] **INRA, Station de Recherches sur la Viande, Theix, 63122 St-Genès -Champanelle, France**

[3] **CEMAGREF, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes, France**

Introduction

L'augmentation de la production de produits élaborés à base de viande de dinde rend de plus en plus nécessaire la prise en compte de la qualité technologique au niveau industriel. Pour les produits transformés par saumurage et cuisson, une des caractéristiques de qualité les plus importantes est le rendement de cuisson, lui-même lié au pouvoir de rétention d'eau de la viande. Les viandes avec un bon pouvoir de rétention d'eau peuvent être traitées sans additifs rétenteurs d'eau tels que les polyphosphates. Pour les viandes avec un pouvoir de rétention plus déficient, l'usage de tels additifs peut permettre d'améliorer le rendement de fabrication.

Parmi les indicateurs potentiels du pouvoir de rétention d'eau et du rendement technologique, la couleur présente l'avantage de pouvoir être mesurée de façon non-invasive et à un rythme très élevé, compatible avec les cadences industrielles de découpe, grâce aux techniques de vision numérique. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt de la vision numérique comme instrument de tri des filets de dinde destinés à la transformation.

Matériel et méthodes

Un total de 170 filets ont été prélevés dans un même site industriel à 4 dates différentes. Les échantillons provenaient de dindes mâles (type BUT 9) âgées de 15 semaines, après une réfrigération conventionnelle d'au moins 8 heures. Le choix des échantillons a été effectué de façon à ce que toutes les intensités de couleur, de la plus claire à la plus foncée, soit représentées. Le pH ultime (pHu) était mesuré directement sur le muscle avec un pH-mètre portatif. Une mesure de couleur sur image acquise à l'aide d'une camera vidéo (tri CCD DXC 990 P SONY) a été obtenue selon la méthode d'analyse d'image couleur développée par le CEMAGREF et les résultats exprimés en indices L* (luminosité), a* (rouge), b*(jaune), C* (saturation= $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$) et h*(angle de teinte=arc tan (b*/a*)). Les filets ont été ensuite emballés sous vide, congelés et transportés au laboratoire. Après décongélation, le rendement de cuisson a été mesuré sur un échantillon homogène de muscle (15 x 5 x 2,5 cm ; 337 ± 14 g, n=170) injecté avec 15 ± 0,5 % de saumure (136 g de sel nitrité par litre d'eau), scellé sous vide et cuit au bain-marie jusqu'à atteindre 68°C à cœur. Une analyse de variance et un test de comparaison des moyennes ont été réalisés.

Résultats

Les échantillons ont été répartis en 4 classes selon leur luminosité (L*) obtenue par vision numérique : de 45 à 48 (Classe 1), de 49 à 52 (Classe 2), de 53 à 56 (Classe 3) et de 57 à 60 (Classe 4). Ces classes ont représenté respectivement 10, 39, 33 et 18 % de l'effectif total des muscles. Comme cela était attendu, le rendement à la cuisson était d'autant plus faible que les filets étaient plus clairs (Tableau 1). On observe des différences de pH entre les classes de luminosité, les deux classes les plus foncées ne montrant toutefois pas de différence.

Tableau 1. Couleur, pHu et rendements de la viande en fonction de la luminosité L* mesurée par vision numérique

	Classe (intervalle de L* Vision)				ETR	Effet
	1 (45-48)	2 (49-52)	3 (53-56)	4 (57-60)		
Effectif	18	66	56	30		
Vision numérique						
L*	47,7 ^{a}	51,3 ^{b}	55,3 ^{c}	58,2 ^{d}	1,1	***
a *	19,5 ^{a}	19,4 ^{a}	17,7 ^{b}	17,4 ^{b}	1,28	***
b*	9,2 ^{a}	9,8 ^{a}	10,1 ^{a}	11,0 ^{b}	1,29	***
C *	21,6 ^{ab}	21,8 ^{a}	20,5 ^{b}	20,7 ^{b}	1,63	***
h *	0,44 ^{a}	0,47 ^{a}	0,52 ^{b}	0,57 ^{c}	0,04	***
pHu	5,95 ^{a}	5,94 ^{a}	5,85 ^{b}	5,79 ^{c}	0,1	***
Rendement de cuisson filet (%)	93,7 ^{a}	92,6 ^{a}	90,5 ^{b}	89,2 ^{b}	2,76	***

Figure 1.Distribution de l'indice de luminosité L*

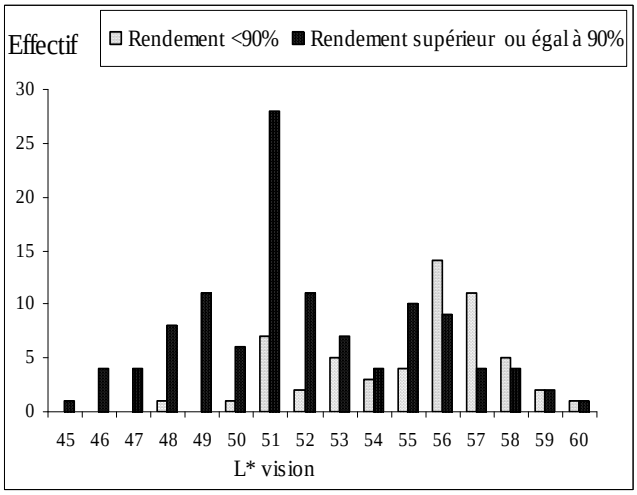
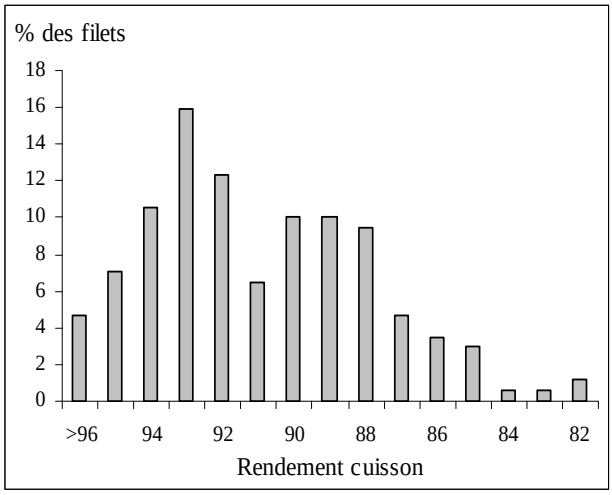


Figure 2. Distribution de rendements de cuisson des filets



Dans nos conditions d'échantillonnage, la luminosité L* présente une distribution bimodale (Figure 1), avec un premier pic centré à L* = 51 et un autre à L* = 56. Les deux pics se recoupent vers L* = 54. On peut considérer que la population distribuée autour de 51 représente les viandes de qualité normale, et que celle située autour de 56 représente des viandes de qualité technologique insuffisante. De la même façon, la distribution des rendements montre deux populations, dont l'intersection se situe vers 90-91 % (Figure 2). On remarque que lorsque L* est supérieure à 55, les filets de rendement inférieur à 90 % deviennent majoritaires quelle que soit la valeur de L* (Figure 1).

Tableau 2. Tri des filets : pourcentage de filets retenus et rendement moyen

Seuil L* pour le tri	% de Filets retenus	% de Filets Rendt ≥ 90%	Rendt moyen
<48	8,8	100,0	93,7
48	10,6	94,4	93,7
49	17,1	96,6	93,3
50	21,2	94,4	93,3
51	41,8	87,3	92,2
52	49,4	86,9	92,9
53	50,6	81,4	91,2
54	60,6	81,6	91,1
55	68,8	80,3	91,5
56	82,4	73,6	89,4
57	91,2	69,0	89,4
>57	100,0	67,3	89,1

Les résultats d'un tri effectué en ne conservant que les filets pour lesquels L* est supérieure à une valeur seuil sont présentés dans le tableau 2. Pour une valeur de L* > 55, on a une chute marquée du rendement de cuisson. Si on retient cette valeur comme seuil, 69 % des filets sont retenus, pour un rendement de cuisson moyen de 91,5 %.

Conclusions

Les résultats de cette étude montrent que le rendement de cuisson des filets de dinde saumurés sans additifs rétenteurs d'eau est lié aux paramètres de couleur obtenus par vision numérique. Cette méthode ne permet pas de discriminer parfaitement les filets en fonction de leur rendement. Elle permet cependant de séparer les filets en deux groupes nettement distincts par leur qualité technologique moyenne, auxquels il est possible d'appliquer des traitements technologiques adaptés.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à l'appui financier de l'OFIVAL.

COMPARAISON DE TROIS METHODES D'ETOURDISSEMENT GAZEUX DES DINDES : EFFICACITE DE LA SAIGNEE ET QUALITES DES VIANDES.

I. SEBASTIAN[1], V. SANTE[2], G. LE POTTIER[1] ET G. MONIN[2]
[1] Comité Interprofessionnel de la Dinde française (CIDEF), 35310 Mordelles, France
[2] INRA, Station de Recherches sur la Viande, Theix, 63122 St Genès -Champanelle, France

Introduction

Les industriels du secteur volaille sont demandeurs d'un procédé d'étourdissement pouvant se substituer à l'électronarcose, méthode généralement utilisée en France. La réduction de la fréquence des défauts sur les carcasses, la réduction du stress des animaux et l'amélioration des conditions de travail du personnel sont des éléments favorables à l'utilisation de l'anesthésie gazeuse. Cependant, certaines études ont mis en évidence des variations dans la qualité de l'étourdissement et la présentation de la carcasse selon la nature du mélange gazeux, et les effets sur les qualités des viandes restent incertains (Raj et Tserveni-Gousi, 2000 ; Fernandez et al., 1998). Nous avons étudié les effets de différentes méthodes d'étourdissement gazeux, susceptibles d'être mises en oeuvre dans les abattoirs de dinde, sur l'efficacité de la saignée et les qualités de la carcasse et de la viande.

Matériel et méthodes

Trois méthodes d'étourdissement au gaz ont été comparées. Dans les deux premières, les animaux étaient placés successivement dans deux atmosphères enrichies en dioxyde de carbone et/ou en oxygène. Dans la troisième méthode, les animaux étaient exposés à une atmosphère appauvrie en oxygène. Ces méthodes sont détaillées dans le tableau 1.

Tableau 1. Concentrations en volume (%) des mélanges gazeux appliqués dans chaque méthode

Méthode	1		2		3
Phase	1	2	1	2	-
Gaz	CO_2/O_2	CO_2	CO_2/O_2	CO_2/O_2	O_2/N_2
Concentrations %					
théoriques	40/30	80	40/30	55/30	2/98
obtenues (1)	40,8/30,7	80,1	40,4/30,5	55,5/30,5	(2)
Durée (min)	1	2	1	2	3

(1) moyenne des valeurs mesurées
(2) les concentrations en O_2 obtenues étaient 6,7 % à 30 s, 3,4 % à 2 min, 2,0 % à 3 min après l'introduction des animaux.

L'expérimentation a été réalisée sur 54 dindes mâles âgées de 10-12 semaines (18 animaux/méthode). Les atmosphères étudiées étaient réalisées par insufflation de gaz purs (CO_2 et O_2 pour les méthodes 1 et 2 ou N_2 pour la méthode 3) dans 2 caissons d'étourdissement (un pour chaque phase des méthodes avec CO_2) et contrôlées en permanence par un analyseur de CO_2 et O_2 (Abyss, France). Pour les méthodes avec CO_2, lorsque les concentrations gazeuses souhaitées étaient obtenues dans chacun des caissons (voir tableau 1), les animaux placés dans une cage grillagée étaient introduits dans le premier caisson pendant 1 min, puis rapidement transférés dans le deuxième caisson pour 2 min. Pour la troisième méthode, on utilisait un seul caisson où les animaux restaient 3 min ; compte tenu du fait que l'azote est légèrement plus léger que l'air, l'introduction de l'animal entraînait inéluctablement une remontée de la concentration d'oxygène (tableau 1). Les dindes étaient alors sorties rapidement et saignées. Les réactions des animaux étaient observées pendant l'anesthésie et la saignée. La vitesse d'écoulement du sang et le volume total du sang expulsé étaient mesurés pendant 3 min et les résultats exprimés en % du poids vif de l'animal (en considérant la densité du sang égale à 1,04). Le pH du muscle pectoral était mesuré à 20 minutes après la saignée et après 24 h de ressuage. Les défauts de carcasse étaient évalués à 24 h post-mortem. Le rendement à la cuisson était déterminé sur le filet gauche saumuré et cuit au bain-marie à 68°C à cœur. Enfin, la couleur (chromamètre Minolta CR 300) et les pertes d'eau des escalopes étaient mesurées sur le filet droite à 24 h post-mortem et après 4 et 8 jours de conservation à 4°C en barquette sous film plastique perméable à l'O_2.

Résultats

La vitesse initiale d'écoulement du sang dépendait de la méthode d'étourdissement. Les animaux étourdis avec la méthode 2 avaient une vitesse d'écoulement du sang plus élevée pendant les 80 premières secondes (Figure 1). Cependant la quantité totale du sang récupérée après 3 minutes de saignée était la même dans les trois méthodes (moyenne 2,7 ± 0,5 % du poids vif, n =54). Les animaux étourdis avec la méthode 3 présentaient le nombre le plus élevé de défauts de carcasse : 44 % avaient au moins une articulation de l'aile fracturée ou démise et plus de 50 % un engorgement des veines des ailes et/ou des hémorragies au niveau des hanches (Figure 2).

Figure 1. Efficacité de la saignée

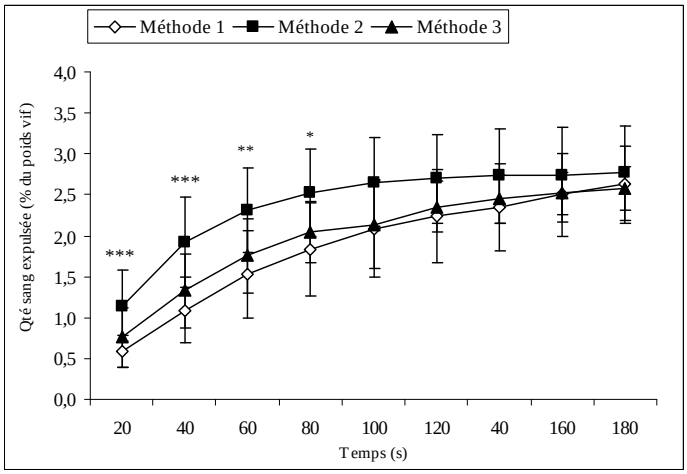
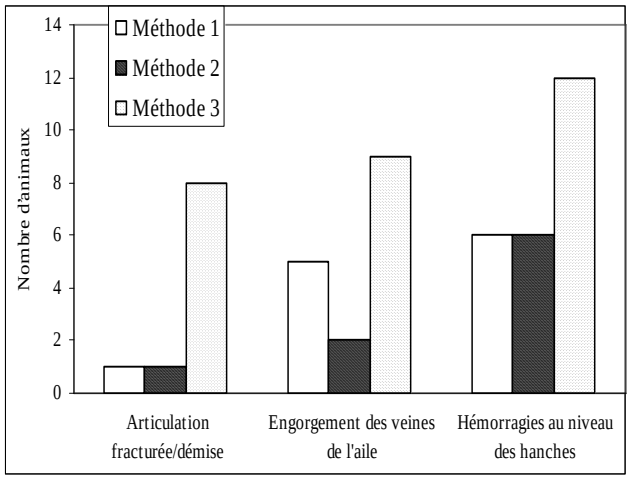


Figure 2. Défauts de carcasse



Le pH 20 min (Tableau 2) était significativement plus élevé chez les animaux étourdis selon la méthode 1 comparé aux deux autres méthodes. Le pH 24 h était plus élevé avec la méthode 2 qu'avec les méthodes 1 et 3. Après 24 h, les escalopes des animaux étourdis avec l'azote (méthode 3) étaient significativement plus rouges que dans les autres méthodes, mais ni la luminosité (L*) ni l'indice de jaune (b*) de la viande fraîche n'étaient affectés par le type de mélange gazeux. Finalement, le rendement à la cuisson des filets était plus faible avec la méthode 3 qu'avec la méthode 1, la méthode 2 donnant un rendement intermédiaire.

Tableau 2. Influence de la méthode d'étourdissement sur le pH de muscle, l'évolution de la couleur des escalopes. et le rendement à la cuisson des filets

		Méthode 1 (CO_2/O_2)	Méthode 2 (CO_2/O_2)	Méthode 3 (N_2)	Signification
pH 20 min		6,45a	6,25b	6,21c	***
pH 24 h		5,69a	5,74b	5,72a	*
J+1	L*	51,7	52,1	51,7	ns
	a*	3,9a	4,3a	5,3b	***
	b*	2,3	2,1	2,1	ns
J+4	L*	51,8	52,3	51,6	ns
	a*	3,1a	3,8b	4,7c	***
	b*	4,9	4,6	4,9	ns
J+8	L*	52,1	52,9	51,2	ns
	a*	2,5a	3,1a	4,0b	***
	b*	5,5	5,8	5,3	ns
Rendement de cuisson filet %		89,1a	87,4ab	86,5b	*

Conclusions

Dans nos conditions expérimentales, les méthodes reposant sur un enrichissement de l'atmosphère en CO_2 et O_2 se sont révélées supérieures en termes de qualité des carcasses et de la viande. Néanmoins, il faut noter que notre dispositif ne nous permettait pas de réaliser l'anesthésie par hypoxie (méthode 3) dans les conditions optimales, c'est-à-dire en exposant les dindes à une concentration d'oxygène inférieure à 2 % dès le début de l'opération. Ceci résulte de la difficulté à contenir l'azote dans une enceinte non étanche, contrairement au CO_2 ou au mélange CO_2/O_2. Il faudra donc confirmer ces premiers résultats en site industriel sur des effectifs plus importants d'animaux, ce qui devrait permettre également de comparer les aspects économiques de ces méthodes d'anesthésie (investissement matériel, consommation de gaz).

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à l'appui financier de l'OFIVAL.

Références

Fernandez X., Mouchonière M., Santé V. (1998). Etourdissement de la volaille à l'abattage. Aspects éthiques et technologiques. 7èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande. Viande et Produits carnés, Hors Série.

Raj M. et Tserveni-Gousi A. (2000). Stunning methods for poultry. World Poultry Science Journal, Vol. 56, 291-304.

LA DESHYDRATATION OSMOTIQUE APPLIQUEE A L'OBTENTION DE VIANDE SECHEE EN COUCHE MINCE

J. SIRAMI
ADIV 2 rue Chappe 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

Introduction

La différence de concentration entre un aliment et une solution concentrée d'agents dépresseurs de l'A_w. est utilisée en salage, en confisage, et en déshydratation osmotique. Le salage et le confisage sont des procédés traditionnels, qui consistent à favoriser la pénétration de soluté dans le produit. En déshydratation osmotique, par contre, on cherche à favoriser le départ d'eau et à limiter l'entrée de solutés, ce qui conduit en général à des réductions de poids significatives des produits traités. On utilise le plus souvent des solutions de saccharose ou d'autres sucres, notamment des sirops de glucose. Des solutions de chlorure de sodium, de sorbitol, de glycérol ou d'autres agents dépresseurs de l'activité de l'eau ont aussi été proposées (Guilbert, 2002). Le procédé de déshydratation osmotique est encore très empirique et a été relativement peu étudié par rapport aux autres modes de séchage. L'ADIV travaille sur ce procédé depuis 1995 en collaboration avec le laboratoire de génie chimique et biochimique de l'UBP à Clermont-Ferrand, grâce à des financements INTERBEV et OFIVAL (Emam-Djomeh et al, 2001; Djelveh et al, 2001). La motivation principale, mais non exclusive, est bien sûr la recherche de nouvelles techniques de valorisation des muscles de bovins mal valorisés aujourd'hui, mais la technique s'applique à toutes les espèces. ADIV Développement a développé un procédé continu et industriel aboutissant à des viandes séchées stables grâce à un financement par aides remboursables ANVAR et OFIVAL et des participations industrielles. Un résumé du cheminement de l'innovation est présenté dans cet article.

Les problèmes d'industrialisation et la démarche de mise au point

La première contrainte à prendre en compte a été celle de la mise en continu du process, ce qui impliquait bien sûr des temps de séjour courts et une bonne répétabilité des résultats sur un temps standardisé.
Les résultats acquis antérieurement en immergeant directement la viande dans des solutions de sel et de sirop de glucose, montraient que la déshydratation osmotique multiplie la perte en eau de tranches de viandes par 4 par rapport aux procédés de salage classique (figure 1).

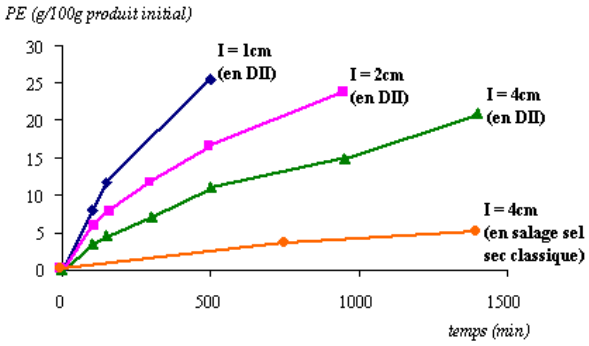


Figure 1. Effet de l'épaisseur de tranche (1, 2, et 4 cm) sur les cinétiques de perte en eau (PE) lors de la déshydratation de viande de bœuf dans une baratte à 12 °C et cinétique en salage sel sec traditionnel d'une tranche de 4 cm d'épaisseur (d'après Djelveh et al, 2001)

En exploitant ces résultats, pour une durée de déshydratation de 3 heures, compatible avec un process continu, l'épaisseur de viande à traiter doit être de 1,85 mm en frais, soit 1,0 mm en sec. Si l'on note que cette épaisseur finale est à peine celle des produits secs tranchés (1,2 à 1,5 mm), il convenait donc de concevoir un process permettant de sécher des viandes tranchées très finement.
Or l'immersion directe de la viande se traduit par une imprégnation forte de la solution très visqueuse en surface de la viande ce qui nécessite un rinçage à l'eau suivi d'un séchage à l'air chaud en sortie de bain de déshydratation ; ceci s'avère impossible et anti-économique sur des tranches fines.
L'idée de laminer de la viande hachée entre 2 feuilles de film interface est alors apparue comme une solution élégante permettant à la fois une automatisation potentielle et la possibilité d'utiliser des petites chutes de découpe pour les valoriser. Il convenait alors d'une part de vérifier la retexturation de la viande hachée (ce qui s'est révélée satisfaisant) et d'autre part de trouver un film répondant aux différents critères suivants : économique, résistant mécaniquement, très perméable à l'eau et très peu aux solutés, éventuellement recyclable, adhérant peu à la viande après séchage afin de faciliter la séparation. Le meilleur compromis a été trouvé dans un type de papier déjà développé pour d'autres applications et en cours d'optimisation pour ce procédé.
Il nous a fallu alors optimiser la concentration et la nature des solutés utilisés afin d'obtenir des A_w les plus basses possibles dans la solution. Par ailleurs, nous remarquions, phénomène connu par ailleurs, que le pH de la viande influençait significativement la cinétique de perte en eau : nous avons donc mis au point une formule de calcul permettant d'ajuster le pH de toutes les viandes à 5,4/5,45 grâce à l'ajout d'acide lactique.
Un second sujet de préoccupation a été la prise de couleur de la viande par nitrosation des pigments ; l'imprégnation en sel étant beaucoup plus rapide que celle du nitrite d'une part, et la législation nous interdisant

l'incorporation de nitrite pur dans la mêlée d'autre part, il nous a donc fallu mettre au point une solution sans sel, nous privant ainsi d'un dépresseur d'A_w puissant et de toute façon indispensable au salage de la viande. Après inventaire complet des possibilités et des contraintes, le choix s'est porté sur le sorbitol, meilleur compromis en terme de coût (de l'ordre de 1 € kg^{-1}), d'efficacité (A_w: 0,7 à saturation), d'innocuité et de goût.
Le sel nitrité pouvant alors être incorporé dans la viande, il a cependant été nécessaire à l'obtention de la nitrosation de régler un temps de présalage et une formulation permettant l'augmentation du pouvoir réducteur de la mêlée et l'obtention d'un pH assez bas favorable à la prise de couleur.
Un troisième grand problème à régler s'est situé au niveau du recyclage de la solution de déshydratation et de l'aspect économique de celui-ci. La solution lors de son passage au contact de la viande se charge en eau, alors que le soluté, en l'occurrence le sorbitol, s'imprègne légèrement dans la viande à travers le papier. Il y a donc nécessité de reconcentrer la solution et de la complémenter en sorbitol. La reconcentration ne peut être réalisée par osmose inverse car la pression osmotique de la solution est trop élevée (70/80 bars), les membranes ne tenant pas à ces pressions. La solution retenue et validée a été l'évaporation sous vide qui permet de conserver toute la qualité du soluté et permet donc des recyclages nombreux.
Enfin un des derniers sujets de préoccupation fut l'aspect sécurité alimentaire avec deux points à étudier :

- le devenir des pathogènes dans les produits traités par déshydratation osmotique,
- le risque de contamination (croisée ou non) par la solution de déshydratation.

A cet effet, des tests de croissance en laboratoire confiné ont été effectués. Ils ont permis d'étudier le devenir de *Listeria monocytogenes, Salmonella tyhimurium* et *Staphylococcus aureus* ainsi que des levures et des moisissures dans la viande et les produits au cours de leur conservation ainsi que dans la solution de déshydratation au cours du cycle complet de déshydratation-reconcentration par évaporation sous vide.
Dans la solution, la forte pression osmotique ne permet à aucune bactérie de survivre, alors que levures et moisissures ne sont détruites totalement que lors du passage dans l'évaporateur.
L'évolution des pathogènes ensemencés sur les matières premières (J-1) a été étudiée sur 3 espèces (dinde, porc et bœuf), après présalage et rajouts d'ingrédients et additifs (J0), puis après déshydratation (J1) et enfin en cours de conservation sous vide (SV) et sous atmosphère modifiée (SA) composée de 70% d'azote et de 30% de CO2 aux jours J7, J30 et J60. Les résultats (figure 2) montrent un fort effet décontaminant du procédé sur *Listeria monocytogenes* et *Salmonella tihimurium (- 2 à – 3 Log)* et encore assez net sur *Staphylococcus aureus.*

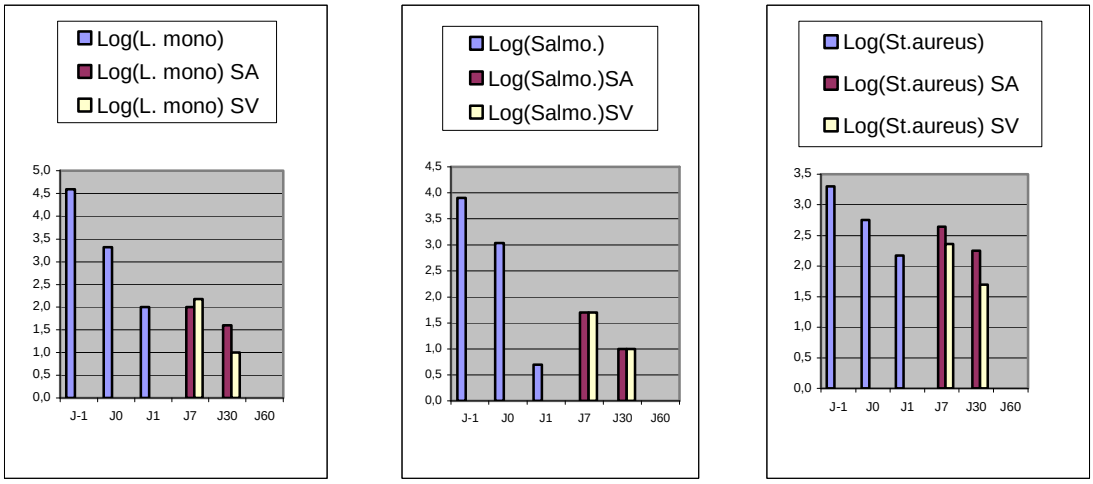


Figure 2; Effet décontaminant du procédé.

Conclusion – Perspectives

Une ligne pilote capable de sécher 200 kg/h de viande est en cours de validation sur la plate-forme ADIV et doit permettre la mise au point de produits et la réalisation de marché-tests pour les 2 entreprises du secteur viande impliquées dans le projet. La ligne produira, à partir de viande hachée finement (2 mm) et laminée en bande de largeur 50 cm, environ 100 kg/heure de viande séchée dans un bain de déshydratation de 5 éléments fonctionnant en contre courant.

Références

Emam-Djomeh Z; Djelveh G; Gros J.B. 2001. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part.1. Lowering of solute uptake in agar gels : diffusion considerations. LWT (Food Science and Technology), 34, 312-318
Djelveh G; Gros J.B., Emam-Djomeh Z. 2001. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part.2. Water loss and solute uptake in agar gel and meat. LWT (Food Science and Technology), 34, 319-323
Guilbert S.2002. Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agro-alimentaires, 3ème éd., TEC et DOC, 263

Procédés

Animateurs : J-B. GROS (Université Clermont 1)
et J. SIRAMI (ADIV)

Posters

UTILISATION DE LA SPECTROSCOPIE DE FLUORESCENCE POUR CARACTERISER LA TEXTURE DES PATES FINES DE VIANDE

ALLAIS I.[(1)],DUFOUR E.[(2)], PIERRE A.[(2)], VIAUD C.[(2)],CHEVALLEREAU V.[(1)], CURT C.[(1)], PERROT N.[(1)]

[1] Cemagref – UMR Genial – Equipe Automatique et Qualité Alimentaire - 24 Av. des Landais -– 63 172 Aubière Cedex

[2] Département Qualité et Economie Alimentaires et UR Typicité des Produits Alimentaires - ENITA Clermont Ferrand – site de Marmilhat – 63370 Lempdes

Introduction

Dans un objectif de maîtrise de la qualité d'un produit alimentaire, la capacité d'anticipation sur la formation des propriétés finales est importante. Pour cela, il est intéressant de disposer de mesures, si possible en ligne, sur le produit en cours de transformation qui soient prédictives des caractéristiques de qualité du produit fini et qui permettront de réagir sur le produit en cours de fabrication. Dans le cas des pâtes fine de viande, les propriétés du produit fini dépendent en partie de l'état de la mêlée en fin de cuttérage. Dans cette étude, deux mesures ont été utilisées pour caractériser les propriétés des pâtes fines: la spectroscopie de fluorescence et la détermination du profil de texture. Ce travail avait un double objectif : discriminer les produits fabriqués dans différentes conditions suivant leur spectre de fluorescence et déterminer s'il existait une relation entre les mesures de spectroscopie de fluorescence et les mesures de texture.

Matériel & Méthodes

Différentes pâtes fines ont été réalisées en faisant varier trois facteurs : la formulation (ratio maigre/gras), la vitesse de rotation du cutter (1000, 2000, 3000 tr/min) et le temps de cuttérage (1, 3, 7 min) suivant un plan d'expériences factoriel complet. Les niveaux de chaque facteur ont été volontairement choisis dans un domaine expérimental élargi par rapport aux conditions industrielles, afin d'obtenir une large gamme de produits.
Les mêlées ont été réalisées dans un cutter à cuve fixe CDH 30 de capacité 30 l, la formule contenait un ratio maigre/gras de porc variable et une quantité fixe des autres ingrédients (glace, agent liant, sel non nitrité, assaisonnement, carmin liquide). L'ensemble du protocole expérimental est résumé sur la figure 1.

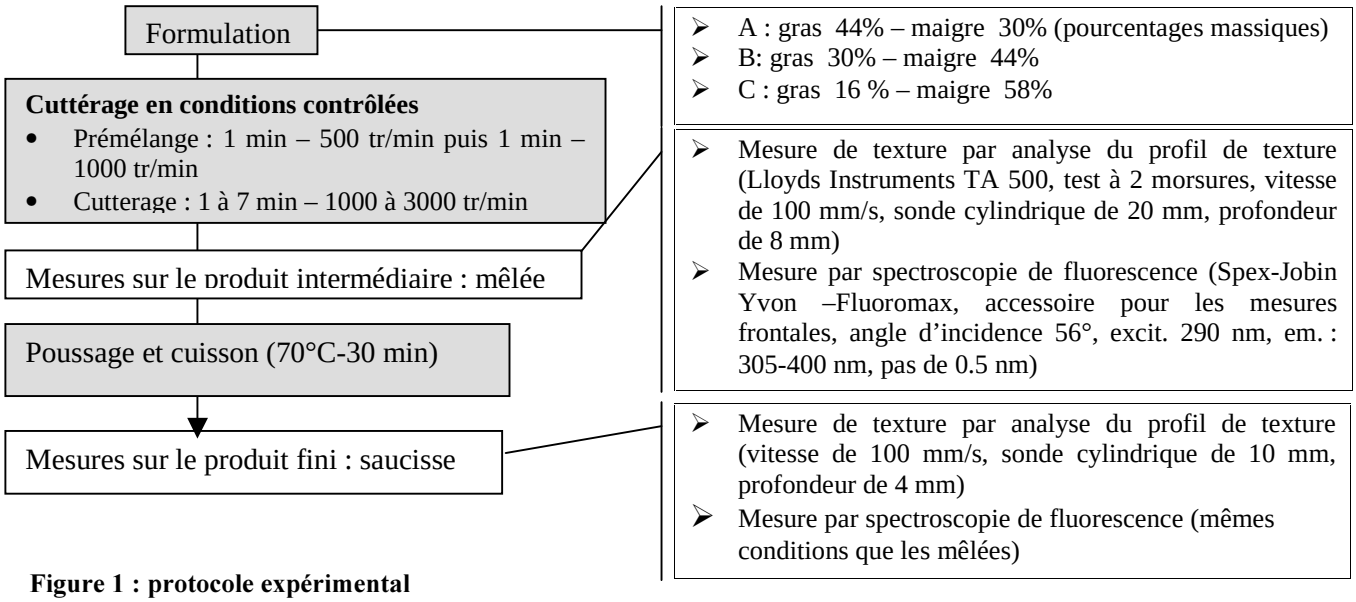


Figure 1 : protocole expérimental

Les mesures ont été répétées trois fois sur chaque échantillon. Les données ont été traitées par Analyse en Composantes Principales et par Analyse Canonique des Corrélations pour les données spectrales.

Résultats

Discrimination des échantillons basée sur les spectres de fluorescence

Pour mettre en évidence une éventuelle relation entre la mesure des spectres de fluorescence et les trois paramètres technologiques pour la fabrication de mêlées de viande nous avons utilisé l'Analyse en Composante Principale. Les analyses ont porté sur les spectres de la mêlée et des saucisses. Elles permettent de discriminer les mêlées et les saucisses suivant la recette (figures 2 et 3) ainsi que les mêlées suivant la vitesse de fabrication.

En revanche, il n'est pas possible de discriminer les mêlées en fonction de leur durée de fabrication ni les saucisses en fonction de leur durée et de leur vitesse de fabrication.

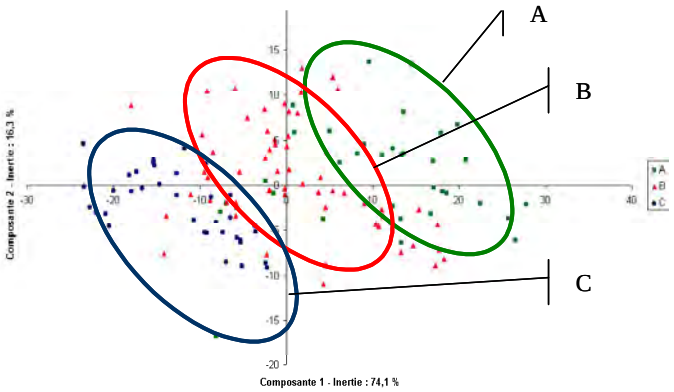


Figure 2 :Carte des similitudes - Répartition des différentes *mêlées* suivant la recette

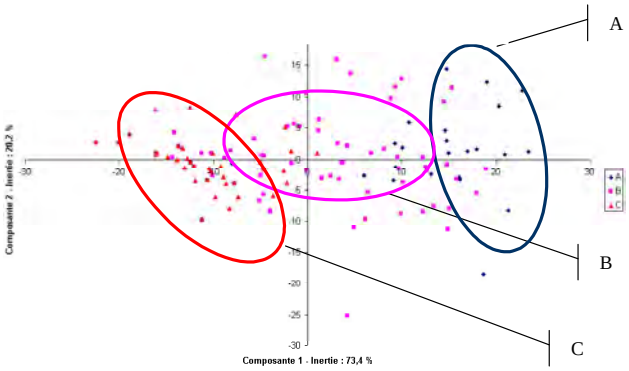


Figure 3 : Carte des similitudes - Répartition des différentes *saucisses* suivant la recette

Relation entre les mesures de spectroscopie de fluorescence et les mesures de texture

Pour les mêlées, l'analyse canonique des corrélations a été réalisée sur le tableau de données de spectroscopie de fluorescence et sur le tableau de données comprenant les 9 critères de texture. Les résultats de l'analyse montrent que les deux premières variables canoniques sont fortement corrélées : les valeurs des coefficients de corrélation canoniques sont de 0.89 et 0.85, ils sont significatifs à un seuil de 95 % (figure 4) . On peut donc en déduire que les mesures de spectroscopie de fluorescence des tryptophanes sur les mêlées sont corrélées avec les mesures de texture obtenues sur ces mêmes produits.

Pour les saucisses, l'analyse canonique des corrélations entre le tableau de données de spectroscopie de fluorescence et le tableau de données des critères de texture n'a pas montré dans un premier temps de corrélation significative au seuil de 95 %. En excluant les produits cuttérés à basse vitesse (1000 tours/minute) qui correspondent à des conditions de cuttérage extrêmes au niveau industriel et qui donnent des produits très hétérogènes, les résultats de l'analyse montrent que les deux premières variables canoniques sont fortement corrélées : les valeurs des coefficients de corrélation canoniques sont de 0.97 et 0.93 (significatif au seuil de 95%). On peut donc dire que les mesures de spectroscopie de fluorescence des tryptophanes sur les produits cuits cuttérés à vitesse supérieure à 1000 tr/min sont relativement bien corrélées avec les mesures de texture obtenues sur ces mêmes produits.

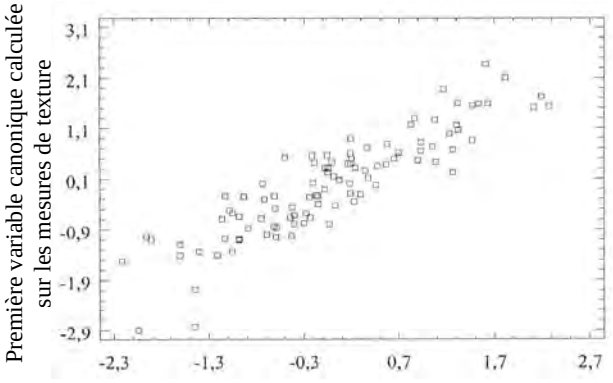


Figure 4 : Carte des corrélations entre les deux premières variables canoniques issues de mesures de texture et des spectres de fluorescence sur les mêlées (coefficient de corrélation canonique = 0.89)

Conclusion

Ces résultats permettent d'envisager la possibilité de prédire les caractéristiques de texture des pâtes fines à partir des spectres de fluorescence frontale.

Remerciements *: Les équipements utilisés ont été cofinancés par la Région Auvergne dans le cadre de l'axe régional « Qualité des Aliments ».*

EFFET DU CONDITIONNEMENT SUR LA STABILITE DE LA COULEUR DU MUSCLE DE TRUITE ARC-EN-CIEL FUME

A. QUIÑONES[1], G. CHOUBERT[2] ET R. GOMEZ[1]
[1] Lab. Technologie Alimentaire, Fac. Pharmacie, Université du Pays Basque, Vitoria, Espagne.
[2] Lab. Nutrition des Poissons, Unité Mixte INRA-IFREMER, Saint Pée-sur-Nivelle, France.

Résumé

Le changement de couleur et de concentration en canthaxanthine a été suivi dans le muscle de truite arc-en-ciel ayant reçu un aliment contenant de la canthaxanthine (80 mg/kg d'aliment) et trois différents taux de lipides alimentaires (6%, 16% et 24%). Après abattage, les poissons ont été fumés à froid et mis sous trois conditionnements différents : air, sous vide et atmosphère modifiée. Le fumage a entraîné une diminution de L* et une augmentation de $H(°)_{ab}$ surtout chez les poissons recevant l'aliment contenant 24% de lipides. Le conditionnement sous atmosphère modifiée a entraîné une augmentation de la durée de vie du produit comparé au conditionnement sous air ou sous vide.

Introduction

La couleur rouge du muscle de truite arc-en-ciel, due aux pigments caroténoïdes, est un important critère de qualité pour le pisciculteur et le consommateur (Choubert, 1982). Cette couleur caractéristique doit être maintenue aussi lorsque le poisson est préparé pour la consommation. Même lorsqu'il a été fumé, la détérioration de la qualité peut avoir lieu (Civera et al., 1995). Le poisson fumé est un produit périssable possédant une durée de vie courte. Le conditionnement présente de nombreux avantages parmi lesquels la préservation et l'allongement de la durée de vie (Oka, 1989). L'objectif de ce travail était d'étudier les changements de couleur et de concentrations en canthaxanthine du muscle de truite fumé en association avec l'utilisation de trois conditionnements différents (air, conditionnement sous vide et atmosphère modifiée).

Matériels et méthodes

Cent cinq truites arc-en-ciel (*Onchorhynchus mykiss*), d'un poids initial de 200 g ont reçu trois aliments contenant différents taux de lipides : 6% massique (Aliment A), 16% (Aliment B) et 24% (Aliment C). 80 mg de canthaxanthine/kg d'aliment ont été ajoutés à l'aliment. Les poissons ont été nourris manuellement *ad libitum* deux fois par jour pendant 98 jours. Après abattage les poissons ont été fumés à froid au Centre Technologique AZTI-SIO (Sukarrieta, Biscaya- Pays Basque, Espagne). Les filets fumés ont été placés sous différents conditionnements: air, sous vide et atmosphère modifiée (80% CO_2 / 20% N_2). Les sacs plastiques utilisés (BB305, Cryovac Sealed Air Corp., Barcelone, Espagne) avaient pour caractéristiques de perméabilité : Oxygène : 35 cm^3/m^2/24h à 23°C, 50% HR, CO2 : 80 cm^3/m^2/24h à 23°C, 50% HR, H_2O : 10 g/m^2/24h à 38°C, 90% HR. Les échantillons ont été stockés à +2ºC. La couleur a été mesurée à l'aide d'un spectrophoto-colorimètre (Mod. 805-i, Minolta ltd, Osaka, Japon) dans l'espace L*, a* et b*, puis a été transformée dans l'espace L* (luminance), C* (saturation) et $H(°)_{ab}$ (teinte) selon Wyszecki et Stiles (1967). Les concentrations en caroténoïdes de chaque muscle ont été déterminées par spectrophotométrie après extraction.

Résultats et discussion (Fig.1 et 2)

Avant fumage, les filets provenant de truites ayant reçu l'aliment C présentaient les paramètres de couleur L* et $H(°)_{ab}$ plus élevés que les filets provenant de truites ayant reçu les aliments A et B. Ces mêmes filets avaient des concentrations en canthaxanthine plus élevées que ceux de truites recevant l'aliment A, et, dans une moindre mesure, l'aliment B. Ce résultat suggère un effet du taux des lipides alimentaires sur la fixation musculaire de la canthaxanthine, composé liposoluble, et corrobore les observations de Nickell et Bromage (1998) pour l'astaxanthine chez la truite.

Après fumage, une modification de la couleur des filets de truite a été notée, notamment une diminution du paramètres L* et une augmentation du paramètre $H(°)_{ab}$. Ces modifications ont été significatives (P<0.05) pour les filets provenant de truites ayant reçu l'aliment C, ce qui confirme des résultats précédemment obtenus (Choubert et al, 1992).

L'effet du conditionnement sur la couleur des filets de truite s'est traduit par une augmentation du paramètre L*, le muscle devenant plus clair, surtout pour les filets, provenant de truites ayant reçu l'aliment A, et mis sous air. Par contre, il y a eu une tendance inverse pour les filets provenant de truites ayant reçu les aliments B et C, et conditionnés sous vide. Par ailleurs, il a été noté une augmentation de la saturation des filets de truite, quel qu'ait été le conditionnement, provenant de truites ayant reçu les aliments A et B. Pour les filets provenant de truites ayant reçu l'aliment C, cette augmentation a été plus marquée. Le paramètre $H(°)_{ab}$ a été celui qui a évolué le plus dans les filets de truite exposés à l'air, surtout lorsque le régime alimentaire du poisson contenait plus de lipides (aliment C). En revanche, les filets mis sous atmosphère modifiée présentaient, dans le même temps, une faible évolution. Les filets conditionnés sous vide, avaient des valeurs intermédiaires.

Le conditionnement a eu des effets différents sur la concentration en canthaxanthine. Une diminution significative (P<0.05) de la concentration a été observée dans les filets fumés conditionnés sous air surtout ceux provenant de poissons ayant reçu l'aliment C (-55% en 28 jours) alors que pour les filets provenant de poissons nourris avec les aliments A et B, la diminution était moindre (-24% et -31 % respectivement) durant la même période. Pour le conditionnement sous vide, la diminution n'a été que de 9%, 6% et 14% pour les filets provenant de truite ayant reçu les aliments A, B et C respectivement. Aucune modification de la concentration en canthaxanthine n'a été observée, après 28 jours de stockage, pour les filets provenant de truites ayant reçu les aliments A, B ou C. Après 72 jours de stockage, il y a eu une faible (-3,5%) diminution de la concentration en canthaxanthine dans les filets de truite ayant reçu l'aliment A par rapport à celle de filets provenant de truites ayant reçu les aliments B et C (-8,5%). Entre le 72ème et le 100ème jour de stockage, les diminutions de concentration en canthaxanthine ont été de 11%, 16% et 16,5% pour les filets provenant de truites ayant reçu les aliments A, B et C respectivement, par rapport aux concentrations initiales.

Conclusion

L'utilisation d'atmosphère modifiée pour le conditionnement de filets de truite arc-en-ciel fumés a permis de maintenir la couleur et de préserver la concentration en canthaxanthine de façon significative par comparaison avec les conditionnements sous vide ou sous air. L'extension de la durée de vie est probablement due à l'effet inhibiteur du mélange gazeux utilisé sur la croissance bactérienne (Civera et al., 1995).

Références

Choubert G., 1982. Sci. Alim., 2: 451-463. Choubert G., Blanc J-M., Courvalin C., 1992. Intern. J. Food Sci. Technol., 27: 277-284. Civera T., Parisi E., Amerio G., Giaccone V., 1995. Arch. lebensmit., 46: 13-17. Nickell D., Bromage N., 1998. Aquaculture, 161: 237-251. Oka H., 1989. Packaging Tech. Sci., 2: 201-213. Wyszeki G., Stiles W.S., Color Science. John Wiley & sons, inc., New York, 628pp.

Remerciements : Nous remercions Cryovac Sealed Air Corp. (Barcelone, Espagne) pour la fourniture des sacs en plastique (BB305).

Fig. 1. Evolution des paramètres de couleur : luminance L* (a), saturation C* (b) et teinte H(*)ab (c) de filets de truite avant et après fumage.

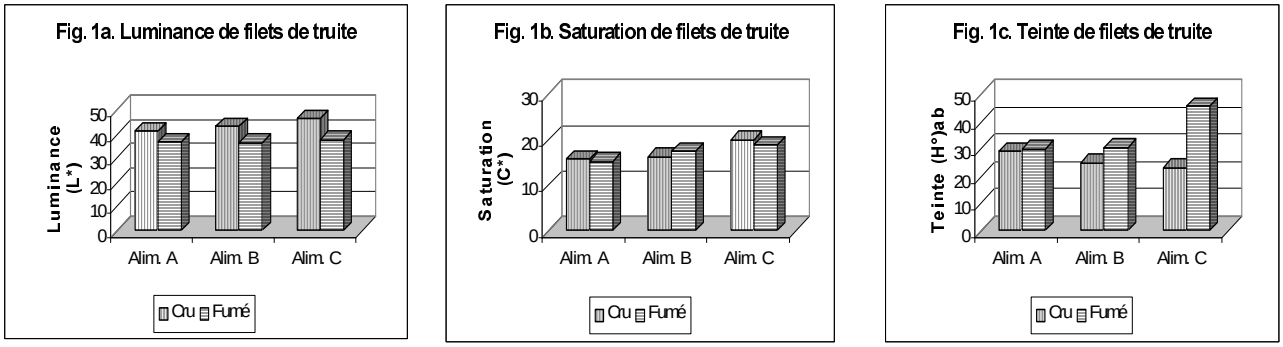
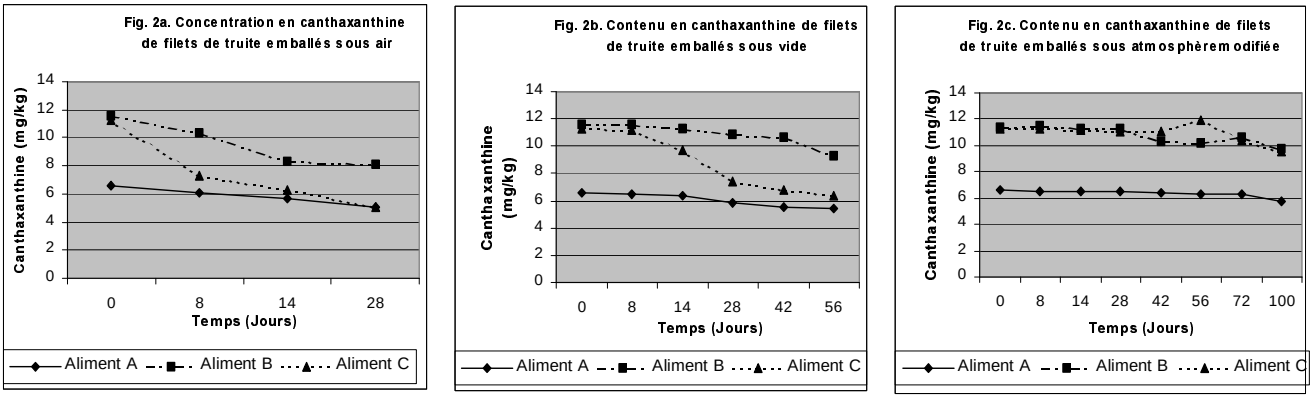


Fig. 2. Contenu en canthaxanthine de filets de truite fumés conditionnés sous air (a), sous vide (b), sous atmosphère modifiée (c).



OPTIMISATION DE LA QUALITE SENSORIELLE DE PATES FINES DE CHARCUTERIE EN COURS DE FABRICATION PAR LA METHODE DU SIMPLEX. UTILISATION DES MESURES SENSORIELLES REALISEES PAR LES OPERATEURS

CURT C. [1] **, LEBLANC V.** [1]**, ALLAIS I.** [1]**, PERROT N.** [1]**, CHEVALLEREAU V.** [1]**,**
TRYSTRAM G. [2]
UMR Génie Industriel Alimentaire (Cemagref-ENSIA-INAPG-INRA)
(1) Cemagref , Equipe Automatique et Qualité Alimentaire, BP 50085 63172 Aubière Cedex
(2) ENSIA, 1, avenue des Olympiades, 91744 Massy Cedex

Introduction

La démarche d'optimisation de la qualité d'un produit a pour objectif l'obtention d'un produit qui possède les propriétés désirées. Elle repose sur des approches qui peuvent être classées en quatre groupes (1) : les stratégies d'experts, les approches indirectes où un modèle est mis en œuvre, les méthodes évolutives et la technique guidée par le sujet. Les méthodes évolutives sont intéressantes car les étapes intermédiaires constituent des solutions, l'arrêt de la méthode étant réalisé sur la base de critères tels que le nombre maximum d'essais ou la proximité entre la référence et le produit. Parmi ces démarches, la méthode du Simplex (2) a donné lieu à différents travaux (3-7). Une des phases importantes de l'optimisation est la phase d'évaluation de la ou des caractéristiques à optimiser. Or, il existe peu de capteurs dans le cas de la caractérisation de produits alimentaires en cours de fabrication. Nous avons montré que l'utilisation du savoir-faire des opérateurs est un moyen de pallier ce problème (8). Notre objectif est d'optimiser, en agissant sur la durée et la vitesse de mélange et en mettant en œuvre la méthode du Simplex, la qualité d'émulsions de viande déterminée à partir d'évaluations faites par un opérateur en fin de cutterage.

Matériels et méthodes

Fabrication.

La formulation utilisée est la suivante : maigre de porc (1000 g), gras de bardière (1000 g), glace (600 g), agent liant Bophos M (La Bovida) (60 g), sel non nitrité (50 g), assaisonnement Flavor (La Bovida) (40 g), carmin liquide (3 g). Tous les ingrédients sont placés dans la cuve d'un cutter CDH 30 relié à un bain cryothermostaté Huber CC130 (température du bain fixée à 18 °C). Ils subissent un pré-hachage pendant 1 min à 500 tr/min puis pendant 1 min à 1000 tr/min. Vitesse et durée de cutterage sont ensuite imposées par l'algorithme du Simplex.

Détermination de l'indice de cutterage (IC).

L'indice de cutterage admet des valeurs qui vont de 1 (très mal cutteré) à 5 (très bien cutteré) ; il est déterminé à partir de l'agrégation d'une mesure de température du produit (TEMP) et de 4 indicateurs sensoriels qui sont des mesures sensorielles réalisées par les opérateurs au niveau du procédé (8). Les indicateurs sensoriels utilisés ont été recueillis auprès d'un opérateur et formalisés ; il s'agit de la taille des morceaux (TM), de l'homogénéité de la mêlée (HM), de la fermeté (FE) et du collant (CO). Dans la démarche d'optimisation, ces indicateurs sont évalués en fin de cutterage sur une échelle de catégories. L'agrégation des mesures est faite à partir de règles SI-ALORS comme : « SI TM est petite et SI HM est très bien et SI FE est moyenne et SI CO est moyen et SI TEMP est normale ALORS IC est égal à 5 ». Les données sont traitées en utilisant un formalisme flou qui permet d'introduire une gradualité des résultats : IC peut prendre toute valeur entre 1 et 5 (4.3 par exemple).

Rendement.

Trois tubes remplis de 40 g (M1) de mêlée crue sont placés au bain-marie à 70 °C pendant 30 minutes. M2 est la masse de produit solide après cuisson et refroidissement. Le rendement est défini par : (M2/M1) x 100.

Algorithme d'optimisation.

Soit un phénomène dépendant de n variables explicatives continues : la réponse d'un essai est représentée dans un espace à n dimensions, par un point ayant pour coordonnées les valeurs prises par les n variables pour l'essai considéré. On appelle simplex un tétraèdre à n+1 sommets dans cet espace à n dimensions. Il représente les réponses des n+1 essais différents (9). L'évolution se fait par remplacement du sommet représentant le plus mauvais résultat par son symétrique par rapport au centre de gravité des autres sommets. Doivent être définis :

- les limites du domaine d'étude : la plage de variation de la vitesse est comprise, ici, entre 500 et 3500 tr/min, la durée de cutterage se situe entre 1 et 10 min ;
- le premier simplex qui détermine la position de départ de l'optimisation (P1 : 1000 tr/min-3 min ; P2 : 1500 tr/min – 3 min ; P3 : 1500 tr/min – 2 min) et le pas de variation de chaque paramètre . Les pas choisis sont de 500 tr/min pour la vitesse et 1 min pour la durée ;
- le critère d'arrêt du Simplex. Deux critères d'arrêt ont été définis : le nombre de fabrications est limité à 20 et il s'agit de maximiser la valeur de IC.

Résultats

La progression de l'optimisation se fait en considérant que le plus mauvais point est celui qui présente la valeur IC la plus faible. L'optimisation de IC a nécessité 8 fabrications (Figure 1). L'arrêt du Simplex s'est fait par obtention d'un maximum local à partir duquel toutes les directions prises par la méthode donnaient des résultats plus éloignés de la valeur optimale recherchée. Les conditions optimales déterminées à l'arrêt du Simplex correspondent à 3 min de cutterage à une vitesse de 2000 tr/min (P6). La valeur de IC avec ces paramètres est de 4.8. Le plus mauvais sommet du simplex de départ présente une valeur IC de 3. Des fabrications supplémentaires, codées Si, ont été réalisées autour de l'optimum et dans des zones inexplorées du domaine d'étude. Sur le domaine exploré, il n'y a pas de combinaison de paramètres permettant d'obtenir un meilleur résultat que celui trouvé au point P6. On montre également que la zone de rendement maximum correspond à la zone déterminée comme optimale par le simplex : le rendement est maximal au point P6 et vaut 98.5 % .

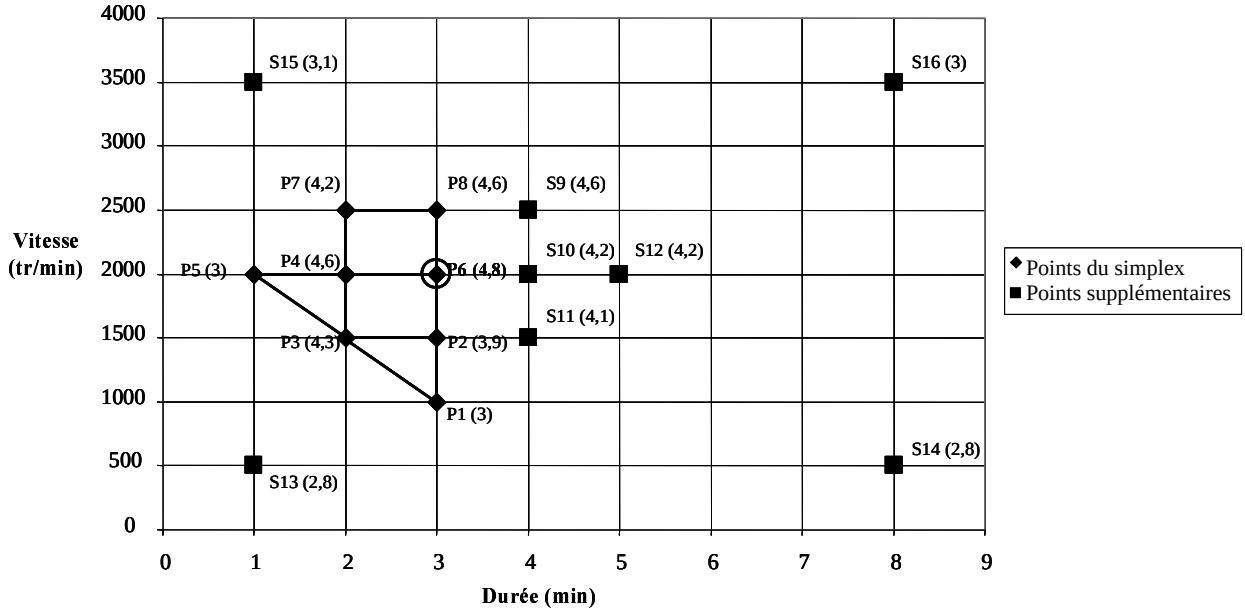


Figure 1: Progression du Simplex (points codés Pi) et fabrications supplémentaires (points codés Si). Les valeurs de l'indice de cutterage (IC) sont entre parenthèses

Conclusion

L'application de la méthode du Simplex au cutterage nous a permis d'atteindre un objectif d'amélioration de la qualité en cours de fabrication en agissant uniquement sur des paramètres procédé : vitesse et durée de cutterage. L'introduction des indicateurs sensoriels permet une optimisation de la qualité sensorielle en cours de fabrication ce qui est généralement difficile compte-tenu de la faible disponibilité de capteurs mesurant ces propriétés.

Références bibliographiques

(1) / Bardot I., Heyd B., Trystram G., Hossenlopp J., Danzart M., 1992. Méthode automatisée de formulation sensorielle pour des boissons non gazeuses, Sciences des aliments, 12, 19-36.
(2) / Spendley W., Hext G. R., Himsworth F. R., 1962. sequential application of simplex designs in optimisation and evolutionary operation, Technometrics, 4, 441-461.
(3) / Datta S., Nakai S., 1992. Computer-aided optimization of wine blending, Journal of Food Science, 57, 178-182.
(4) / Ramos E., Valero E., Ibanez E., Relero G., Tabera J., 1998. Obtention of a brewed coffee aroma extract by an optimized supercritical CO-based process, J. Agric. Food Chem., 46, 4011-4016.
(5) / Heyd B., Bardot-Cayeux I., 1997. Optimisation hédonique de la formulation d'une boisson par la méthode du simplex, Sciences des aliments, 17, 409-416.
(6) / Heyd B., Bardot I., Trystam G., Hossenlopp J., 1995. Automated formulation of a beverage based on the optimization of sensory properties, Food Quality and Preference, 6, 1-6.
(7) / Tabera J., Iznaola M. A., 1990. Optimization de una fermentacion alcoholica continua por el metodo Simplex, Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment., 30, 230-238.
(8) / Curt C., Trystram G., Hossenlopp J., 2001. Formalisation of at-line human evaluations to monitor product changes during processing. Integration of human decision in the dry sausage ripening process, Sciences des Aliments, 21, 671-689.
(9) / Benoist D., Tourbier Y., Germain-Tourbier S., 1994. Plans d'expériences : construction et analyse., Tec et Doc Lavoisier, 186-196.

Remerciements

Les équipements utilisés ont été cofinancés par la Région Auvergne dans le cadre de l'axe régional « Qualité des Aliments ». Les auteurs remercient M. Géret (Sté Géret - St Jean le Vieux) pour sa coopération au recueil d'expertise.

LE TRI DES JAMBONS PSE DE PORC PAR VIDEO CAPTURE

P. FIGWER, MT. POIREL, X. PASTEUR, L. MOUNIER, M. SIDIBE, M. FRANCK
Unité de zootechnie, économie rurale, ethnologie, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

Introduction : Caractérisation des lésions de types PSE et conséquences technico-économiques.
Les viandes de type PSE sont caractérisées visuellement par une décoloration, une perte de structure musculaire et une exsudation excessive (1) se traduisant par des baisses de rendement (à tous les stades de transformation de la viande) et des pertes économiques importantes. Physiologiquement les lésions de type PSE sont en général associées à une diminution rapide du pH après abattage et à un pH à 24h bas (<5,5). Cette évolution particulière du pH et sa valeur finale ne permettent cependant pas de prédire du caractère PSE de la viande (2), ce que remarquent beaucoup de professionnels de la filière. Face à cette insuffisance prédictive du pH et à la nécessité d'évaluer la matière première, nous avons développé un outil et une méthode objectivant la qualité par vision de la couleur.

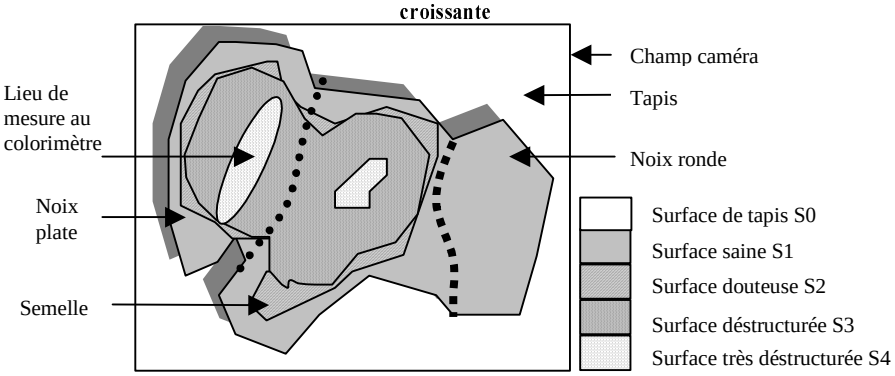
1-Objectifs :
Mettre au point un outil et une méthodologie permettant de transposer l'évaluation objective de la qualité technologique du jambon cru ouvert par colorimétrie (localisée et avec contact) à une évaluation automatisée (globale et sans contact), sur une chaîne de production à haute cadence.

2-Matériel et méthode :
Le pilote industriel (constitué d'une caméra, d'un module de traitement et d'un ordinateur) a été installé successivement dans des usines de transformation du jambon cru. Une méthodologie d'étalonnage, de calibration, et d'analyse a été développée en fonction des capacités du pilote et des contraintes et exigences des industriels.

2.1 Matériel
L'évaluation des jambons est effectuée, après désossage et parage, en parallèle par un colorimètre (CR300, Minolta, Japan) et par le pilote. L'évaluation par colorimétrie est effectuée sur une surface de $2cm^2$ sur le demi-membraneux au niveau de la coupe d'une collatérale fémorale, alors que l'évaluation par la caméra a lieu sur toute la surface du jambon.

2.2 Méthode
Un étalonnage de la caméra corrélant couleur mesurée par le colorimètre et couleur calculée par la caméra est effectué en trois points sur un référentiel L*, a*, b* . Nous définissons ainsi quatre intervalles d'intensité lumineuse croissante. La calibration permet dans un premier temps de définir les profils des pièces en terme de surface correspondant à ces quatre intervalles, et dans un deuxième temps d'établir le profil de « surface lésée » à partir duquel le jambon sera déclassé sur des critères colorimétriques et des impératifs du salaisonnier. Le profil de chaque jambon est alors introduit dans une série d'équations logiques (si Surface PSE> valeur tolérée) qui classera automatiquement le jambon PSE. Ces étapes étalonnage et calibration permettent donc de passer d'une évaluation localisée avec contact, à une évaluation basée sur la totalité du jambon et sans contact.
Le schéma 1 représente l'image obtenue par la caméra pendant la mesure.

Schéma 1 : représentation de la vision de la caméra et de la répartition des surfaces de clarté croissante



3-Résultats
Chaque pièce analysée par le pilote est intégrée dans un test diagnostic dans lequel sensibilité et spécificité sont définies respectivement comme la proportion des pièces détectées PSE pour lesquelles la pathologie est effectivement présente et comme la proportion des pièces détectées saines pour lesquelles la pathologie est effectivement absente. La prévalence moyenne de viande PSE rencontrée dans les différents sites est de 20% avec un minimum de 13% et un maximum de 30%.

L'analyse numérique se base sur le point d'intersection et la pente des courbes de sensibilité et spécificité du diagnostic du pilote. Une relation particulière relie la sensibilité et la spécificité du diagnostic à savoir que lorsque la spécificité augmente, la sensibilité diminue et inversement. Plusieurs points remarquables permettent cependant de comparer les performances du pilote : i)la spécificité et sensibilité du tri qui sont tour à tour fixées à 70% ; ii)le point d'intersection des courbes sensibilité et spécificité en fonction de la surface ; iii)et enfin la pente de la courbe de sensibilité.

Table 1 : Exemple des performances de tri du prototype par type de produit

	Produits		
	Jambons Entiers	Noix plates	Semelles
Effectifs	459	387	311
Point d'intersection %	65,25	76,5	71,4
Pente	-9,313	-5,375	-10,75
Sensibilité pour une spécificité fixe de 70%	59,475	81,15	75,8
Spécificité pour une sensibilité fixe de 70%	58,7	81,8	71,4

Chaque session de mesure dans les différents sites a permis de déterminer les conditions qui influencent les performances de tri du pilote. Ces conditions sont propres au produit et à son positionnement, et à l'ambiance lumineuse. L'analyse révèle que les surfaces les plus lumineuses du profil d'un jambon sont plus aptes à qualifier la qualité du jambon que les surfaces les moins lumineuses car, pour une même spécificité, la prévalence de jambons PSE donnée par la caméra est plus proche de celle donnée par le colorimètre. Lorsque on augmente l'intensité du parage ou la fréquence d'escalopage, les indices de qualité du tri augmentent.

Les corrélations entre les surfaces calculées et la luminance du demi-membraneux varient en fonction des types de produits analysés et des conditions de mesure. Les meilleurs corrélations sont données avec les surfaces les plus lumineuses et sont comprises entre 0,53 et 0,92. La figure 1 représente les droites de régression des surfaces du profil des pièces en fonction de leur luminance mesurées au colorimètre.

Les surfaces S1 à S4 ont une luminance croissante. La pente la plus faible est obtenue avec la surface composite S3+S4, une pente faible permet un réglage plus facile du pilote.

L'analyse graphique permet de contrôler l'évolution du tri qualitatif et quantitatif en fonction du profil de « surfaces lésées » paramétrées (sur un type de produit) pour un réglage prenant en compte les impératifs industriels.

Les courbes de sensibilité et spécificité en fonction des 4 surfaces résument les performances du tri pour un seuil de déclassement choisi (figure 2).

Figure 1: Régressions linéaires entre la luminance et les surfaces S4, S3, S2, S1 et S3+S4.

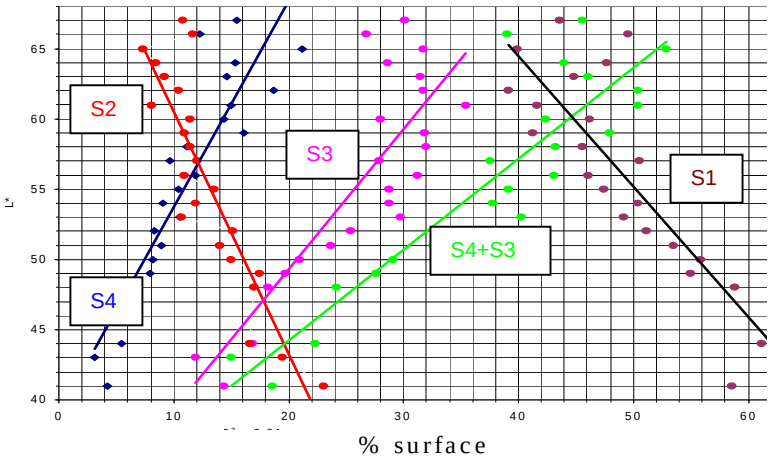
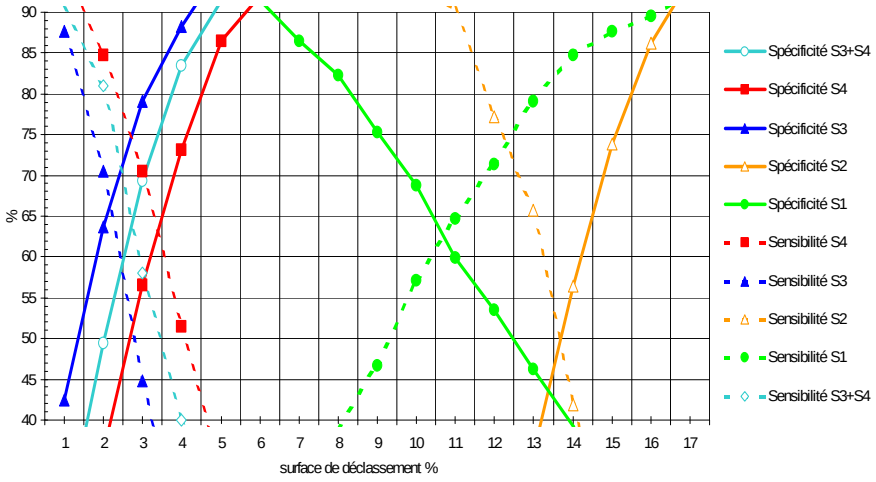


Figure 2 : spécificité et sensibilité du pilote en fonction des valeurs des surfaces d'analyse



4-Discussion

A l'aide de différentes sessions de mesures réalisées sur des lots comprenant une prévalence de jambons présentant le défaut PSE compris entre 13% et 30% (soit 20% de moyenne) nous retenons que :

1) La sensibilité et la spécificité du tri augmentent en fonction de la qualité technologique des lots et l'intensité du parage. Plus la proportion de viandes PSE est élevée, meilleure est la définition du tri par la caméra; une intensité de déstructuration élevée étant souvent observée dans des lots à forte proportion de viandes PSE.
2) Les surfaces les plus lumineuses ont un point d'intersection pour les courbes spécificité et sensibilité parmi les plus élevées et une pente des plus faibles ce qui permet une meilleure discrimination qualitative du jambon.
3) Les produits dépiécés optimisent le mieux les fonctionnalités du pilote. Les conditions de mesure propres aux sites industriels définissent les performances du tri.
4) Selon le produit et avec un parage approprié (dégagement des principaux muscles) on peut espérer une spécificité et une sensibilité minimum de 75% à 85%

5-Conclusion

Le pilote (caméra+module d'analyses) permet un tri très concluant (en particulier pour du jambon dépiécé), cependant les mesures ne sont possibles qu'après mise à nu des jambons par « épluchage ». La cadence maximum des mesures envisagée est de 2 à 4 pièces/ seconde, en fonction d'une analyse sur une ou deux pièces à la fois. La méthode d'évaluation de la qualité par la couleur est effectivement plus tardive que le pH, mais beaucoup plus précise, plus informative et plus souple.

L'outil que représente le pilote pourrait permettre plusieurs applications parmi lesquelles: un contrôle de qualité en amont(fournisseur, gamme de poids, …) un contrôle de qualité en aval (produit, parage, épluchage), … ; et enfin une gestion des quantités des produits pour des traitements particuliers en fonction de leur qualité après parage.

6- Bibliographie

(1) FRANCK M., BENARD G., FERNANDEZ X., BARBRY S., DURAND P., LAGANT H., MONIN G., LEGAULT Ch., 1999. Journées de la Recherche Porcine, 1999, 31, 331-338.
(2) FRANCK M., MONIN G., LEGAULT Ch., 2000. Journées de la Recherche Porcine, 2000, 32, 345-349.

MESURE DE LA TENDRETE DE LA VIANDE PAR SPECTROSCOPIE DE FLUORESCENCE FRONTALE

FRENCIA J. P.[1] – THOMAS E.[1] – DUFOUR E.[2]
[1]ADIV Association - 2 rue Chappe - 63039 Clermont-Ferrand cedex 2
[2]ENITA, UR typicité des produits alimentaires, Site de Marmilhat - 63370 LEMPDES

CONTEXTE – OBJECTIF

Bien que la sécurité alimentaire devienne, en ce début de siècle, un critère très important pour le consommateur, l'aspect organoleptique et plus particulièrement la tendreté , reste un facteur d'achat essentiel et de fidélisation de la clientèle. Cependant, les industries de la viande ne disposent à l'heure actuelle, d'aucune méthode rapide et fiable pour garantir la tendreté de la viande au moment de la commercialisation.
En 1999, dans le cadre d'un projet financé par INTERBEV et l'OFIVAL, l'ADIV en collaboration avec l'ENITA de Clermont-Ferrand a réalisé un programme afin d'évaluer la spectroscopie de fluorescence frontale comme méthode de mesure de la tendreté de la viande.
Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont montré que l'on arrivait, par cette méthode, à discriminer des muscles selon les deux composantes de la tendreté :

- Dureté de base – muscle contenant plus ou moins de collagène selon leur localisation sur la carcasse,
- Composante myofibrillaire représentative de la protéolyse qui se produit pendant la maturation.

Compte tenu des résultats, un programme de validation sur des échantillons industriels a été réalisé (financement INTERBEV et OFIVAL).

MATERIEL ET METHODE

L'étude de faisabilité a été réalisée dans un premier temps au moyen du spectrofluorimètre Fluoromax de l'ENITA (Spex – Jobin Yvon). C'est un appareil de laboratoire très précis mais trop encombrant. Un appareil modulaire a donc été réalisé par l'ADIV afin d'être transportable et utilisable sur site. Il comprend notamment une source lumineuse Xénon-Mercure, un filtre interférentiel (λ=290nm, bande passante $\pm$ 5nm), un spectromètre (Intaspec II Oriel) et une fibre optique coaxiale qui permet d'effectuer des mesures directement sur le muscle sans préparation préalable.

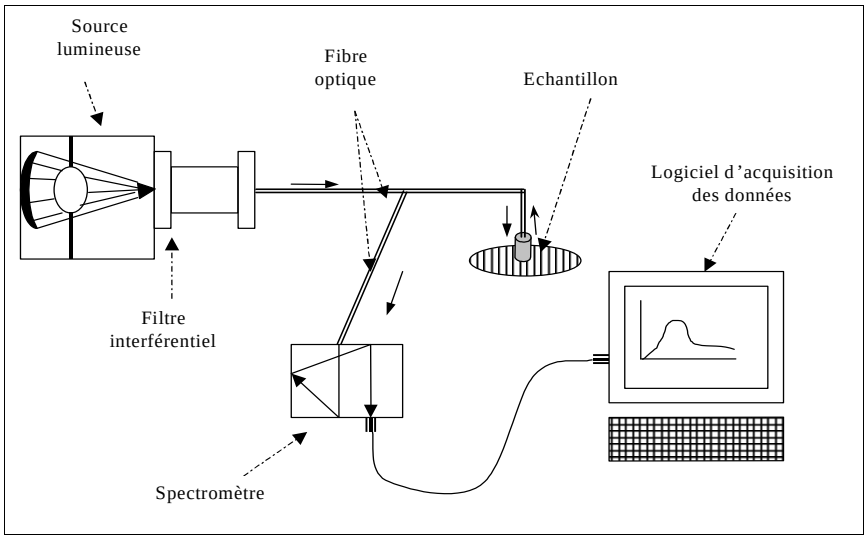
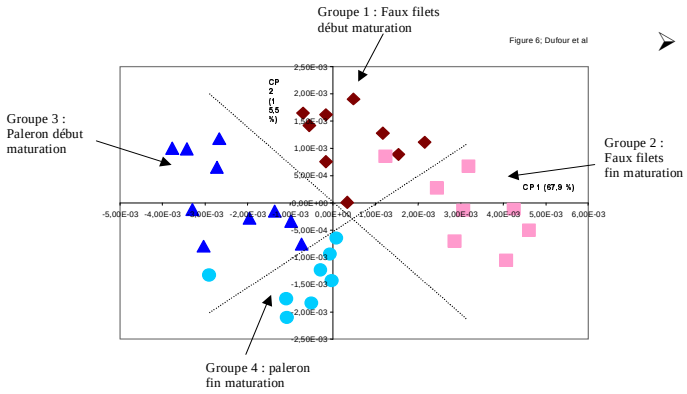


Figure 1 : Dispositif général de spectroscopie utilisé par l'ADIV

***Principe de fonctionnement** : le faisceau lumineux qui traverse la fibre optique a une longueur d'onde centrée à 290 nm. Mis au contact de l'échantillon de viande crue, il excite des fluorophores (notamment les tryptophanes des protéines) qui réémettent un signal. Ce signal parcourt la fibre optique en sens inverse puis est analysé par un spectromètre relié à un logiciel d'acquisition des données.*
Les différents spectres ainsi obtenus sont comparés statistiquement aux résultats obtenus par d'autres méthodes.

RESULTATS

Les résultats de spectroscopie ont été ont été exploités par différentes méthodes d'analyse statistique multidimensionnelle afin d'évaluer l'efficacité de la méthode :



➢ **Capacité de la méthode à discriminer les échantillons en fonction de leur teneur en collagène et de leur durée de maturation :**

Sur cette carte, les échantillons se distinguent selon 2 axes en quatre groupes différents.

La spectroscopie de fluorescence permet donc de discriminer des individus en fonction du type de muscle et de la durée de maturation.

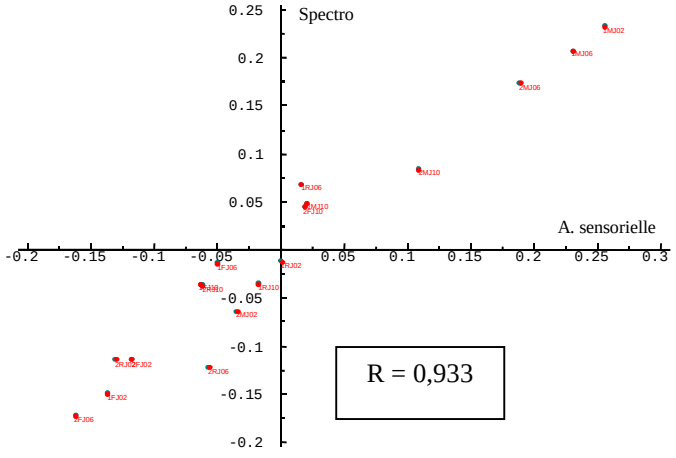
Figure 2 : Carte factorielle 1-2 de l'analyse en composantes principales réalisée sur la collection de spectres d'émission des tryptophanes des protéines

METHODES DE MESURES COMPAREES	Coefficient de corrélation
A. sensorielle / Spectro. ADIV	**0,769**
A. sensorielle / Spectro. ENITA avec Fibre optique	**0,933**
A. sensorielle / Spectro. ENITA sans Fibre optique	**0,956**
A. sensorielle / Texturomètre	**0,945**
Texturomètre / Spectro ADIV	**0,523**
Texturomètre / Spectro. ENITA sans Fibre optique	**0,951**
Texturomètre / Spectro. ENITA avec Fibre optique	**0,914**
Spectro. ENITA sans Fibre / Spectro. ADIV	**0,814**
Spectro. ENITA sans Fibre / avec Fibre optique	**0,965**
Spectro. ENITA avec Fibre / Spectro. ADIV	**0,834**

➢ **Corrélation avec d'autres méthodes de mesure de la tendreté :**

Les résultats de spectroscopie ont été comparés à des résultats d'analyses sensorielles et de texturométrie. Les coefficients de corrélation obtenus nous ont permis de valider la spectroscopie de fluorescence frontale comme méthode de mesure de la tendreté.

Tableau 1 :Coefficients de corrélation entre les différentes méthodes de mesure de la tendreté



Les résultats de spectroscopie de fluorescence sont très bien corrélés aux résultats d'analyses sensorielles. Ils montrent que la spectroscopie de fluorescence est une méthode pertinente pour évaluer la tendreté de la viande.

Les coefficients de corrélation obtenus entre les différentes méthodes sont particulièrement bons, ceci est dû au fait que l'on compare des spectres complets (corrélation canonique). Par conséquent, c'est un ensemble de variables qui est pris en compte dans l'analyse et non quelques critères comme on le rencontre plus généralement dans la littérature.

Figure 3 : Corrélation canonique entre l'Analyse sensorielle et la Spectroscopie ENITA avec Fibre optique

CONCLUSION

La spectroscopie est donc une méthode de mesure de la tendreté fiable qui comporte de nombreux avantages et plusieurs applications possibles:

- Elle permet de discriminer des échantillons par rapport à leur durée de maturation et par rapport au type de muscle.
- Elle est objective, rapide, non destructrice et donc utilisable en ligne.
- Facile d'utilisation, elle ne nécessite pas de compétence particulière.

L'ESTIMATION DES PROPRIETES D'EQUILIBRE DANS LES PROCEDES DE TRANSFORMATION OU DE CONSERVATION DES PRODUITS CARNES PAR UNE METHODE DE CONTRIBUTION DE GROUPES.

C.G. DUSSAP, J.B. GROS
Laboratoire de génie chimique et biochimique, Université B. Pascal, CUST, 24 avenue des Landais, BP 206, 63174 Aubière cedex, France.

Introduction

Les propriétés d'équilibre de l'eau sont utilisées constamment car elles permettent de préciser le comportement d'un aliment dans un environnement donné. L'activité de l'eau en est un exemple. Le travail présenté rend compte d'une méthode qui, outre les propriétés d'équilibre de l'eau, permet d'accéder aux propriétés de tous les constituants dans une solution aqueuse. La méthode est une méthode de contribution de groupes dérivée du modèle UNIFAC qui calcule les propriétés d'équilibre à partir de l'enthalpie libre d'excès des différents constituants du mélange. Par bilans, on peut alors déterminer les propriétés d'équilibre liquide-vapeur, les propriétés liquide-liquide ou liquide-solide des solutions, leurs propriétés osmotiques et, si on connaît les constantes de dissociation, le pH. Nous traiterons ici de deux exemples d'application, la déshydratation osmotique et la conservation sous atmosphère contrôlée.

Modèle

Le modèle de solution développé par Achard et al. (1994) est la somme de deux contributions :
/1/ le modèle UNIFAC (Universal Functional Group Activity Coefficients; Fredenslund *et al.*, 1975) modifié par Larsen et al. (1987) pour la prévision des activités des molécules non ioniques dans le mélange. Ce modèle est basé sur le concept de contribution de groupes. Chaque molécule est décomposée en groupements fonctionnels et le coefficient d'activité est la somme de deux termes : le premier tient compte de la forme (surface et volume) des groupes à l'aide de paramètres structuraux et le deuxième des interactions énergétiques entre groupements. On prend ainsi en compte les interactions dites de courte portée.
/2/ un modèle tenant compte de la présence de constituants ioniques. Il décrit les interactions de longue portée entre espèces ioniques et se fonde sur la théorie de Debye-Hückel, telle qu'elle a été modifiée par Pitzer (1973).

$$\mathrm{Ln}\gamma_i = \mathrm{Ln}\gamma_i^{UL} + \mathrm{Ln}\gamma_i^{PDH}$$

Le modèle tient également compte de la présence des molécules d'eau liées aux cations par des interactions de solvatation. On considère que les anions sont très peu ou pas hydratés. On tient compte de la solvatation des cations par les molécules d'eau à l'aide d'un nombre d'hydratation. Ce nombre est caractéristique d'un ion donné et non d'un sel donné, ce qui facilite le traitement des mélanges contenant de nombreux constituants dissociés.
Le modèle de solution fournit la composition détaillée de la solution (concentrations des espèces chargées ou non) et les activités des différents solutés. En particulier, il calcule le pH défini comme :

$$\mathrm{pH} = -\log_{10}(a_{H+})$$

a_{H+} désigne l'activité des ions H^+. Lorsque la solution contient des électrolytes faibles, une méthode originale de résolutions des équilibres multiples de dissociation permet de déterminer automatiquement le nombre et la nature des espèces présentes réellement dans le mélange. Ceci est nécessaire : en effet, si on dissout par exemple Na_2HPO_4 dans de l'eau, les espèces Na^+, H^+, OH^-, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}, $H_2PO_4^-$, H_3PO_4 doivent aussi être considérées.

Résultats

Ce modèle a été utilisé pour estimer des propriétés d'équilibre nécessaires à la mise en œuvre d'opérations telles que la déshydratation osmotique (a_w, coefficients d'activité), ou la production de molécules à propriétés d'arômes par fermentation (pH, coefficient de Henry). Il est actuellement testé en microbiologie prévisionnelle (a_w, pH).

Déshydratation osmotique

Dans les procédés de déshydratation osmotique, les aliments sont immergés dans des solutions aqueuses concentrées contenant des sels, des sucres ou d'autre agents dépresseurs de l'activité de l'eau. La déshydratation de la viande peut être réalisée par des solutions salées et sucrées ; le temps de traitement dépend entre autres, de la différence entre l'activité de l'eau dans la solution et dans la viande, et des valeurs relatives des coefficients de diffusions apparents de l'eau, des sucres et des ions dans la viande. Différents mélanges ont été déterminés de telle sorte que l'activité de l'eau soit égale à 0,85, et une solution contenant 1000 g d'eau, 200 g de NaCl, 420 g de saccharose et 1 g de xanthane a pu ainsi être sélectionnée. La figure 1 montre que le modèle fournit des

informations supplémentaires, en particulier il met en évidence l'influence relativement faible du sucre sur le coefficient d'activité du sel.

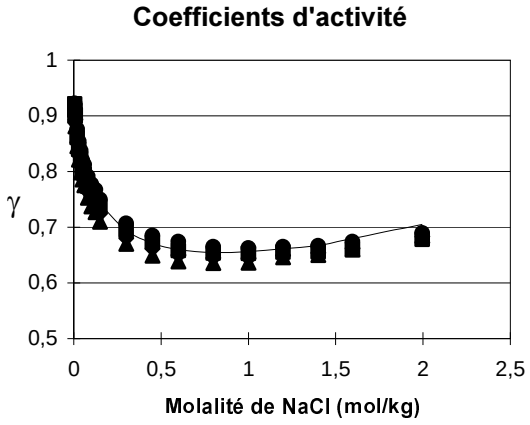


Figure 1. Comparaison des valeurs expérimentales du coefficient d'activité moyen de NaCl à différentes molalités en présence de saccharose à différentes molalités (● 0. ■ 0,31 ◆ 0,68 and ▲ 1,11 mol/kg) et du modèle de solution (——).

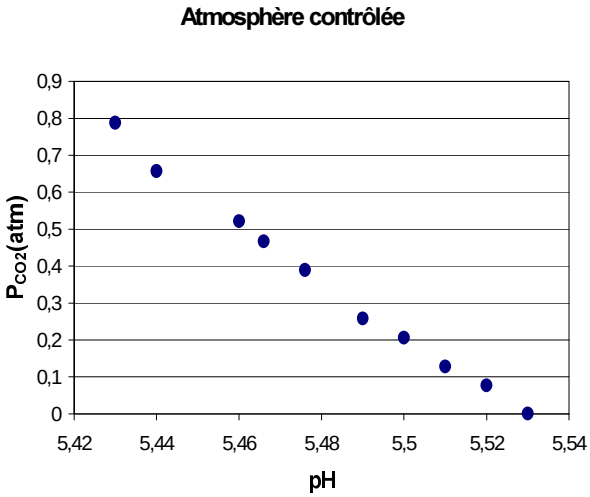


Figure 2. Influence de la pression partielle en gaz carbonique, dans un mélange CO_2-azote sous une pression totale de 1 atmosphère, sur le pH de la viande.

Conservation sous atmosphère contrôlée

La viande rouge et les produits de charcuterie et de salaison (pâtés, boudins, andouillettes, saucissons...) peuvent être emballés sous atmosphère contrôlée. Pour la viande en l'état, le mélange gazeux utilisé est 80% O_2 et 20% CO_2, ou 70% O_2, 25% CO_2, et 5% N_2. Pour les produits cuits, il est composé de 50% CO_2 et de 50% N_2, pour les saucissons ou les grosses pièces tranchées de 10% CO_2 et de 90% N_2. La figure 2 montre l'influence de la teneur en gaz carbonique sur le pH d'une viande initialement à pH 5,53. La viande modèle considérée se limite à sa fraction soluble, qui a la composition suivante: (g/1000g) eau, 755 ; K^+ 3,9 ; Na^+ 1,0 ; Mg^{++} 0,2 ; Ca^{++} 0,012 ; P 2,0 ; acide lactique 9,0 ; (mol/1000g) carnosine, anserine et résidus hystidylimidazole des protéines myofibrillaires 0,0035 (Puolanne et Kivikari, 2000). On peut constater dans ce cas précis, que le gaz carbonique peut être utilisé sans conséquence sur le pH de la viande après rigor, sur un domaine relativement large, mais que la quantité absorbée sous forme de bicarbonate n'est pas négligeable. Ce résultat peut avoir une influence sur l'apparence des emballages, car l'équilibre n'est pas obtenu instantanément. Enfin, le calcul du pouvoir tampon de cette viande donne 37 mmol H^+ $pH^{-1}kg^{-1}$, dans le domaine de pH 5,5-7. Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de Pualanne et Kivikari (2000) qui ont mesuré pour le longissimus dorsi de porc : pH 5,44 ± 0,06; pouvoir tampon minimum 38,9 ± 2,2 mmol $H^+pH^{-1}kg^{-1}$ à pH 5,56 ± 0,04; pouvoir tampon moyen entre 5,5 et 7, 52 mmol $H^+pH^{-1}kg^{-1}$, et pour le triceps brachii de porc : pH 5,90 ± 0,14; pouvoir tampon minimum 32,2 ± 1,9 mmol H^+ $pH^{-1}kg^{-1}$ à pH 5,64 ± 0,04; pouvoir tampon moyen entre 5,5 et 7, 45 mmol $H^+pH^{-1}kg^{-1}$.

Conclusion

Les modèles de contribution de groupes peuvent permettre une estimation rapide des propriétés d'équilibre entre les aliments et leur environnement et ainsi une meilleure maîtrise de la mise en œuvre de procédés nouveaux ou existants.

Références bibliographiques

Achard, C., Dussap C.G., Gros J.-B., Prediction of pH in complex aqueous mixtures using a group-contribution method. *AIChE J.*, 40 (1994) 1210-1222.

Fredenslund, A., Jones R.L., Prausnitz J.M., Group-contribution estimation of activity coefficients in nonideal mixtures. *AIChE J.* 21 (1975) 1086.

Larsen, B.L., Rasmussen P., Fredenslund A., A modified UNIFAC group-contribution model for prediction of phase equilibria and heats of mixing. *Ind. Eng. Chem. Res*., 26 (1987) 2274-2286.

Pitzer, K.S. (1973). Thermodynamics of electrolytes.1. Theoretical basis and general equation. *J. Phys. Chem.*, 77 (1973) 268-277.

Puolanne E., Kivikari R., Determination of buffering capacity of post rigor meta. *Meat Science*, 56 (2000) 7-13.

SELECTION DE SOUCHES FONGIQUES DE LA FLORE DE SURFACE DE SAUCISSONS SECS ET ETUDE DE LEUR CAPACITE CATALYTIQUE.

J.B. GROS[1], M.F. ROQUEBERT[2], J.L. BERDAGUE[3], C. LARROCHE[1], P. FONTANILLE[1], J. SIRAMI[4]
[1]Laboratoire de génie chimique et biochimique, Université B Pascal, CUST, BP 206, 63174 Aubière cedex
[2]MNHN, Laboratoire de mycologie, 12 rue Buffon, 75005 Paris
[3]INRA Clermont-Ferrand-Theix, Station de Recherche sur la Viande, Theix, 63122 Saint-Genés-Champanelle
[4]Adiv, 2 rue Chappe, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

Introduction

Les qualités aromatiques des produits de salaison, et en particulier des saucissons secs, constituent un des éléments importants du choix effectué par les consommateurs. L'arôme est en grande partie d'origine microbienne et il est produit par la flore de surface et par la flore interne du saucisson. La première semble jouer un rôle important même si la part de chacune des flores reste mal connue.

Le travail présenté a porté sur l'étude des souches fongiques de la flore de surface des saucissons secs.

Matériels et méthode

Méthode

Le travail s'est déroulé en six étapes visant à mettre en évidence la capacité catalytique spécifique de la flore fongique de surface :

1 - collection de saucissons d'origine artisanale issus de différentes régions de France. Sélection d'un lot de référence, sur le critère de la qualité et de l'intensité de leur arôme.
2 - isolement et identification des moisissures présentes à la surface de ces saucissons.
3 - fabrication de saucissons à partir de chacune des souches pures.
4 - analyse de la fraction volatile produite par la flore de surface de saucissons du commerce sélectionnés.
5 - analyse de la fraction volatile produite par la flore de surface des saucissons ensemencés par chacune des souches pures.
6 - culture en réacteur des souches pures. Etude des formes et des conditions de culture ; étude de leur capacité à produire des constituants de la fraction volatile à partir de précurseurs sélectionnés.

Matériels utilisés

Les milieux de culture utilisés pour l'isolement des moisissures ont été les milieux MA (Malt-Agar 2%), PDA (Potato Dextrose Agar) et DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol agar). La température d'incubation était de 25°C.

La formulation des saucissons "modèle" était la suivante :

- viande: épaule de porc 4D : 80% massique, bardière : 20% massique ;
- assaisonnements : sel : 3% (en masse), saccharose : 0,6%, salpêtre : 400 ppm, poivre noir moulu : 0,1% ;
- flore interne : ferment Lyoflore 2M (Texel)
- autres caractéristiques : hachage des morceaux de viande à 6 mm, pétrissage pendant 2,5 min., boyau naturel.

Les conditions de fabrication sont restées classiques :

- ensemencement en moisissures de surface par trempage individuel durant 2 min. environ. Un témoin non ensemencé a été réalisé. Le développement des moisissures contaminantes a été inhibé par trempage du témoin durant 2 min. environ dans une solution de pimaricine.
- égouttage 12 h à 12°C dans des cellules d'étuvage/séchage préalablement désinfectées.
- étuvage à 24°C maximum durant 26 heures et fleurissement (développement des moisissures) entre 19 et 15°C durant 3 jours.
- séchage dans la même cellule pendant 21 jours à 12°C entre 75% et 85% HR (Figure 1).

Figure 1 : aspect des saucissons en fin d'étuvage

Après extraction de la fraction volatile, l'injection des composés volatils concentrés sur le piège a été réalisée par désorption thermique à 220°C dans un chromatographe Hewlett-Packard 5890 series A couplé à un spectromètre de masse Hewlett-Packard 5971A. L'identification des composés a été conduite par comparaison des spectres expérimentaux avec ceux obtenus dans les banques NIST/EPA/MSDC (1996) et NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library version 1.5 (1996), ainsi que par comparaison de leurs indices de rétention relatifs (indices de Kovats) par rapport à la banque de données réalisée par Kondjoyan et Berdagué (Inra, 1996).

Les analyses statistiques ont étés effectuées avec le logiciel STATISTICA (1997).

Résultats

La sélection de saucissons artisanaux "particulièrement" aromatiques et l'identification de leur flore a conduit à mettre en collection (Laboratoire de Cryptogamie, MNHN) un ensemble de 59 souches de moisissures, essentiellement des *Penicillium*. Le tableau 1 récapitule les principales espèces isolées et identifiées.

Espèces	Nombre de souches
Penicillium	
Penicillim aurantiogriseum	17
Penicillium jensenii	7
Penicillium expansum	4
Penicillium verrucosum	4
Penicillium brevicompactum	3
Penicillium crustosum	2
Penicillium puberulum	2
Penicillium variabile	2
Penicillium camembertii	1
Penicillium chrysogenum	1
Penicillium decumbens	1
Penicillium implicatum	1
Penicillium roquefortii	1
Penicillium simplicissimum	1
Penicillium viridicatum	
Mucorales	8
Mucor racemosus	2
Mucor plumbeus	2
Rhizopus stolonifer	
Divers	4
Cladosporium phaerospermum	1
Aspergillus claviforme	1
Aspergillus niger	1
Epicoccum purpurascens	

Tableau 1 : Récapitulation des principales espèces de moisissures présentes dans les saucissons sélectionnés.

L'analyse sensorielle et l'analyse par GC-MS de la fraction volatile produite sur des saucissons par cette flore de surface ont confirmé le rôle actif qu'elle joue. Les descripteurs visuels (implantation, homogénéité, couleurs) ont tous été influencés de façon hautement significative par la souche sélectionnée pour ensemencer la surface. Parmi les descripteurs olfactifs, les variables "odeur de saucisson", "odeur de cave", "odeur de champignon", "odeur d'humus" ont été aussi influencées de façon hautement significative par les ensemencements de surface. Les composés de la fraction volatile sont semblables à ceux communément identifiés à l'intérieur des saucissons et l'on retrouve des alcools, des aldéhydes, des cétones, des alcanes, des composés aromatiques, des terpènes et des sesquiterpènes...., mais à des concentrations très différentes. Les profils chromatographiques des saucissons ensemencés par des souches pures sélectionnées sont ainsi riches en composés benzéniques et en composés à 8 atomes de carbone, et pauvres en substances classiquement trouvées dans les mêlées de saucissons.

Le comportement sur substrat solide des souches sélectionnées a été précisé et on sait actuellement assurer leur propagation. Elles ont pu être cultivées de façon reproductible en réacteur, en milieu liquide, dans des conditions très éloignées de leur habitat naturel. Elles gardent leur aptitude à la biosynthèse et à la biotransformation. Elles se sont révélées capables de synthétiser des métabolites aussi divers que des cétones, des alcools (à partir d'acides gras), des aldéhydes, des esters, des acides gras, des alcanes, des composés benzéniques et aussi des terpénoïdes.

Conclusion

Le travail sur les souches pures en réacteur confirme donc les potentialités aromatiques décelées lors des analyses menées sur les saucissons. L'étude n'a pas mis en évidence de molécule spécifique générée par la flore de surface, par rapport à la flore interne, mais elle a montré le rôle non négligeable du 3-octanol, de la 6-méthyl-3-heptanone et d'un isomère probable du 1-octène-3-ol, dans la perception de la qualité et de l'intensité de l'arôme de saucisson. Il semble donc qu'il serait tout à fait intéressant de prolonger cette étude par la sélection et l'étude des souches capables de produire des C_8 et par la recherche des conditions de surproduction.

MODELISATION DES TRANSFERTS THERMIQUES DANS UN JET D'AIR CHAUD EN VUE DE LA DECONTAMINATION DES VIANDES

A. KONDJOYAN*, M. HAVET**
***INRA, Station de Recherches sur la Viande, 63122 St Genès Champanelle, France**
****ENITIAA, rue de la Géraudière, BP 82225, 44322 Nantes cedex 3, France**

1. Introduction

La décontamination thermique de la surface des viandes est une idée ancienne qui trouve un regain d'intérêt du fait de l'exigence des consommateurs pour un produit plus sûr et leur réticence face à l'emploi d'additifs chimiques ou de l'irradiation. La revue de l'ensemble des publications scientifiques et les prototypes développés aux USA montrent qu'un traitement thermique diminue significativement la charge microbienne en surface des viandes. Mais les traitements thermiques sont délicats à appliquer et la quantité exacte de micro-organismes détruits suite au traitement reste sujet à controverse. Cette quantité dépend à la fois de facteurs microbiologiques (type et état physiologique du micro-organisme, nature du produit alimentaire) et de la variation des paramètres physiques (température, activité de l'eau) à la surface du produit au cours du traitement. Un programme Européen (programme « BUGDEATH », 5^{ième} PCRDT) est en cours pour produire un modèle qui prédise avec fiabilité la décontamination thermique des produits. Ce modèle doit être utilisable par des industriels pour calculer des « barèmes de décontamination ». Il doit donc être simple, rapide et exige : (1) d'établir des lois de létalité des micro-organismes dans des conditions physiques données et (2) de pouvoir prédire très précisément les variations de température à la surface des produits alimentaires au cours des traitements thermiques. Le volet thermique doit être traité conjointement par l'INRA-SRV et l'ENITIAA de Nantes. Le traitement choisi est basé sur l'utilisation d'un jet d'air chaud ou de vapeur. Il doit être suivi d'une phase de refroidissement par l'air. Les échantillons sont des tranches de produits alimentaires orientées parallèlement ou perpendiculairement au jet. Un modèle simple a été élaboré pour décrire les transferts thermiques et une étude de sensibilité a déjà été effectuée dans le cas d'un transfert par convection forcée. Le travail présenté ici évalue les performances du modèle dans le cas d'une viande de poulet soumise à un jet d'air chaud.

2. Présentation du modèle

Le problème a été considéré comme un transfert de chaleur en une dimension, c'est-à-dire que le produit a été assimilé à une plaque plane dont les deux dimensions autres que l'épaisseur sont supposées infinies. Une approche mono-dimensionnelle se justifie aisément de par le problème physique traité et par la nécessité d'obtenir un modèle simple exploitable par des industriels. L'évolution de la température dans l'épaisseur du produit x au cours du temps t peut être très simplement décrite par l'équation différentielle :

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = D_t \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \qquad (1)$$

Les transferts sur la face inférieure de la tranche de produit (reposant sur un support) sont représentés par la relation suivante :

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{inf} = h_{inf}\left(T_{support} - T_{inf}\right) \qquad (2)$$

T_{inf} étant la température de la face inférieure du produit, $T_{support}$ celle du support et h_{inf} un coefficient qui décrit les échanges par conduction entre le support et le produit et qui représente une condition limite.

La condition limite sur la face supérieure du produit doit prendre en compte les échanges par convection, par rayonnement et par changement d'état. Les parois entourant le produit sont supposées être des corps noirs à la même température que l'air (hypothèse souvent vérifiée en pratique). Lors d'un transfert chaleur-eau couplé, la valeur du coefficient de transfert de matière peut être calculée à partir de celle du coefficient de transfert de chaleur en utilisant la relation de Lewis. La condition limite peut alors être écrite sous la forme :

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{sup} = \left(h + \varepsilon\sigma \frac{T_{air}^4 - T_{sup}^4}{T_{air} - T_{sup}} + h \frac{C_p M_{air} P_{atm}}{M_{eau}} (Le)^{0.67} \Delta H \frac{P_{Td} - a_{ws} P_{T\,sup}}{T_{air} - T_{sup}} \right) \left(T_{air} - T_{sup}\right) \qquad (3)$$

(I) (II) (III)

Les termes (II) et (III) peuvent être considérés comme deux coefficients de transfert, h_{rad} et $h_{état}$, variables au cours du temps et décrivant respectivement les transferts par rayonnement et changement d'état à la surface du produit. La somme de h, h_{rad} , $h_{état}$ est considérée comme un coefficient de transfert classiquement nommée coefficient de transfert effectif, h_{eff}.

Les équations (1), (2) et (3) ont été discrétisées par une méthode aux différences finies et en utilisant le schéma numérique implicite du deuxième ordre de Crank-Nicolson (implémentation sous matlab 5.2). Lors de la résolution du système, la valeur du coefficient de transfert effectif a été recalculée à chaque pas de temps à partir des valeurs actualisées des différentes variables. La précision des résultats dépend du maillage numérique et du pas de temps utilisés. L'utilisation d'un pas de temps variable auto-adaptatif permet de calculer sur un micro-ordinateur de type PC l'évolution de la température de surface à +/- 0.05°C près et en quelques dizaines de secondes.

3. Protocole expérimental

Les expériences ont été effectuées sur de petits échantillons de téflon ou de viande de poulet de surface 1cm x 1cm et d'épaisseur variant entre 1.5 cm et 3.0 cm. Ces petits échantillons étaient placés dans un support en téflon, et entourés de pièces de garde également en téflon, de manière à ce que l'ensemble (échantillon + pièces de garde) constitue un bloc de 5cm x 5cm x 3cm. Le bloc était placé à 15 cm de la sortie d'un pistolet à air chaud et de façon à ce que la surface de 5cm x 5cm du bloc soit perpendiculaire au jet. Lors des expériences, certaines des parties du bloc de téflon étaient peintes en noir ou recouvertes partiellement de bandes en aluminium. Deux thermocouples étaient placés l'un dans le bec du pistolet à air chaud et l'autre à 1 cm au dessus de l'échantillon. Un thermocouple était également positionné à environ 1 mm sous la surface d'un des échantillons en téflon. Les thermocouples étaient reliés à une centrale de mesure elle-même connectée à un ordinateur. Une caméra infrarouge munie d'une unité de traitement permettait de suivre l'évolution des températures en surface des échantillons. Lors d'une expérience, le pistolet était préchauffé pendant quelques minutes pour que les conditions de soufflage soit constantes. Puis l'échantillon était soumis au jet d'air chaud durant 20 à 30 minutes, au cours desquelles l'ensemble des températures étaient enregistrées toutes les 5 minutes. Les images infrarouges étaient ensuite visualisées et traitées en utilisant des programmes développés sous l'environnement matlab 5.2 (« image processing toolbox »). Les opérations d'étalonnage des thermocouples et de calibrage de la caméra infrarouge permettaient d'assurer une mesure des températures à +/-0.5°C près. Dans un jet, les répartitions de vitesse et de température d'air sont très hétérogènes. Des quadrillages physiques effectués avant et après l'expérience permettaient de connaître les répartitions exactes de vitesse et de température d'air qui arrivaient au contact du bloc de téflon.

4. Résultats

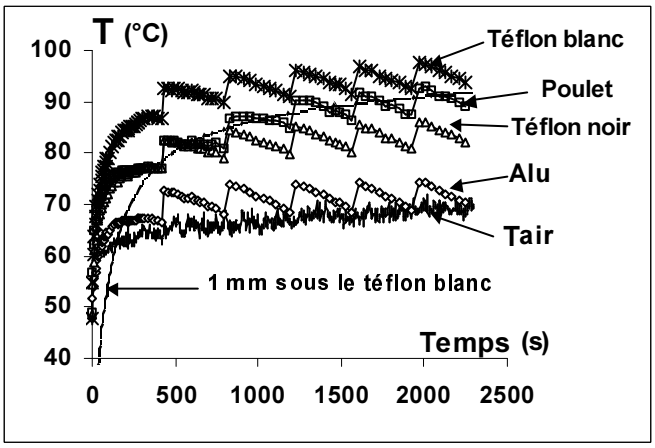


Figure 1 : Températures mesurées sur du téflon et du poulet soumis à un jet d'air chaud à 5 m/s et 66°C. La température du bec est de 175°C.

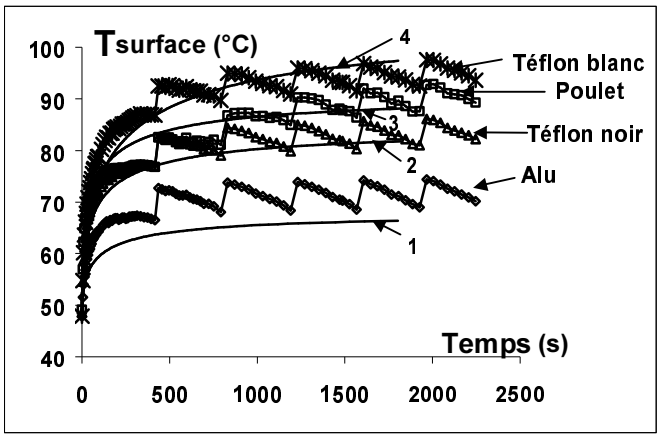


Figure 2 : Comparaison entre valeurs expérimentales (Fig.1) et calculées avec : (1) U = 4,0 m/s, Tu =20%, Tair = 65°C, ε = 0,2 ; (2) U = 4,0 m/s, Tu =20%, Tair = 65°C, ε = 0,99 ; (3) U = 5,0 m/s, Tu =20%, Tair = 75°C, ε = 0,99 ; (4) U = 1,0 m/s, Tu =20%, Tair = 75°C, ε = 0,99.

La figure 1 présente des cinétiques de température mesurées sur du téflon et sur un échantillon de viande de poulet recouvert de sa peau. Les résultats montrent l'importance des échanges par rayonnement liés à la température du bec du pistolet. Lorsque l'emissivité du produit est faible, comme dans le cas de l'aluminium, la température de surface en fin d'expérience est proche de celle de l'air. Par contre, pour des emissivités plus élevées, la température d'équilibre en fin d'expérience est intermédiaire entre la température de l'air est celle du bec du pistolet. La température des surfaces de téflon blanche et peinte en noir sont voisines montrant que la valeur de l'emissivité du téflon poreux utilisé au cours des expériences est très différente de celle du téflon de couverture lisse donnée par la littérature (ε = 0,38). La cinétique de température mesurée en surface du poulet est très voisine de celle obtenue sur le téflon, ce qui montre que l'évaporation en surface du poulet est très faible au cours de l'expérience. La température mesurée 1 mm sous de la surface du téflon blanc est très différente de celle mesurée en surface, ce qui montrent la nécessité d'utiliser : (1) des systèmes à infrarouge pour effectuer les mesures et (2) des modèles de calculs avec des maillages numériques suffisamment précis pour décrire les transferts de surface.

La figure 2 présente les résultats calculés à partir du modèle en tenant compte de la vitesse et de la température d'air mesurés au dessus de chacune des surfaces considérées (téflon blanc, téflon noir et échantillon de poulet). Les valeurs des coefficients de transferts h, k introduites dans le modèle proviennent de mesures effectuées auparavant en soufflerie dans les même conditions. Les propriétés thermophysiques (conductivité et diffusivité thermiques) sont celles données par la littérature pour le téflon à 23°C. L'emissivité du produit ε, est considérée comme étant égale à 0,20 quand il s'agit d'aluminium et à 0,99 dans les autres cas. Globalement, les résultats calculés sont en bon accord avec l'expérience, mais ils dépendent énormément des caractéristiques du produit (λ, ε), qui demanderaient donc à être mesurées précisément. D'autre part, pour pouvoir d'écrire les autres situations rencontrées en pratique, il faudrait, dans le modèle de rayonnement, tenir compte de l'orientation du jet par rapport à la surface du produit. Enfin, une dégradation de la surface de la peau de poulet (fusion des graisses) est observée visuellement lors des expériences dès que la température en surface de l'échantillon devient supérieure à 65-70°C. Cet aspect sera à prendre en compte lors du choix des protocoles de décontamination.

Conclusion : Le modèle permet effectivement de décrire les résultats expérimentaux. La mesure des propriétés thermophysiques et des expériences supplémentaires sont nécessaires à sa bonne validation.

UTILISATION D'UN MODELE DE TRANSFERT DE CHALEUR ET MATIERE COUPLE AVEC UN MODELE DE CROISSANCE DE MICROBIOLOGIE PREVISIONNELLE POUR L'OPTIMISATION D'UN PROCEDE UTILISANT L'AIR

BAUCOUR Ph., NICOLAS C., LEBERT I., LEBERT A., DAUDIN J.D.
Station de Recherches sur la Viande
INRA, Centre de Clermont-Ferrand-Theix
63122 Saint Genès Champanelle

Le souci de sécurité et de qualité est une préoccupation de première importance dans les industries agroalimentaires. De nombreux procédés utilisent l'air comme fluide de transport de la chaleur et de la matière. Les propriétés de cet air (température, vitesse et humidité relative) sont ajustées afin de maîtriser les qualités de l'aliment en jouant, de façon indirecte et sans la mesurer, sur l'activité de l'eau en surface (a_{ws}) qui a un impact majeur sur la croissance microbienne.

L'objectif de ce travail est l'utilisation d'un outil permettant d'évaluer l'impact de la conduite des procédés sur la qualité et la sécurité des produits quand la surface de ceux-ci est balayée par un flux d'air (BAUCOUR *et al.*, 2002). Cet outil résulte du couplage de deux modèles décrivant l'évolution pour le premier de la teneur en eau et de la température dans et en surface d'un produit alimentaire et pour le deuxième du développement des microorganismes dans les aliments. L'outil a été validé dans le cas de la croissance de *Pseudomonas spp* en surface d'un muscle de porc placé dans un flux d'air. Ce modèle est utilisé maintenant pour étudier l'influence de paramètres de contrôle du procédé (température, vitesse, humidité relative de l'air), de paramètres intrinsèques au produit (diffusivité de l'eau, courbe de sorption, chaleur spécifique), de paramètres géométriques du produit (épaisseur, longueur) ou de paramètres liés à la bactérie (temps de latence, temps de génération). Dans toutes les simulations qui suivent, le produit modèle utilisé est un gel de gélatine 60 bloom placé dans un flux d'air de température 10°C et d'humidité relative 90%; la gélatine, pH = 6, est contaminée en surface par *Pseudomonas spp* à un niveau initial de 10 UFC/cm^2.

Dans les industries alimentaires, la vitesse de l'air en contact avec les aliments varie en général entre 0,2 et 5 m/s. Les faibles valeurs se retrouvent dans des installations de type affinage de fromages, les plus fortes lors du refroidissement de pièces telles que des carcasses de bovins. Les flux d'eau sont approximativement doublés lorsque la vitesse est multipliée par quatre, d'où l'évolution de l'activité de l'eau en surface (Figure 1a). En conséquence, une diminution de la population maximale est observable à 5 et 1 m/s (Figure 1b).

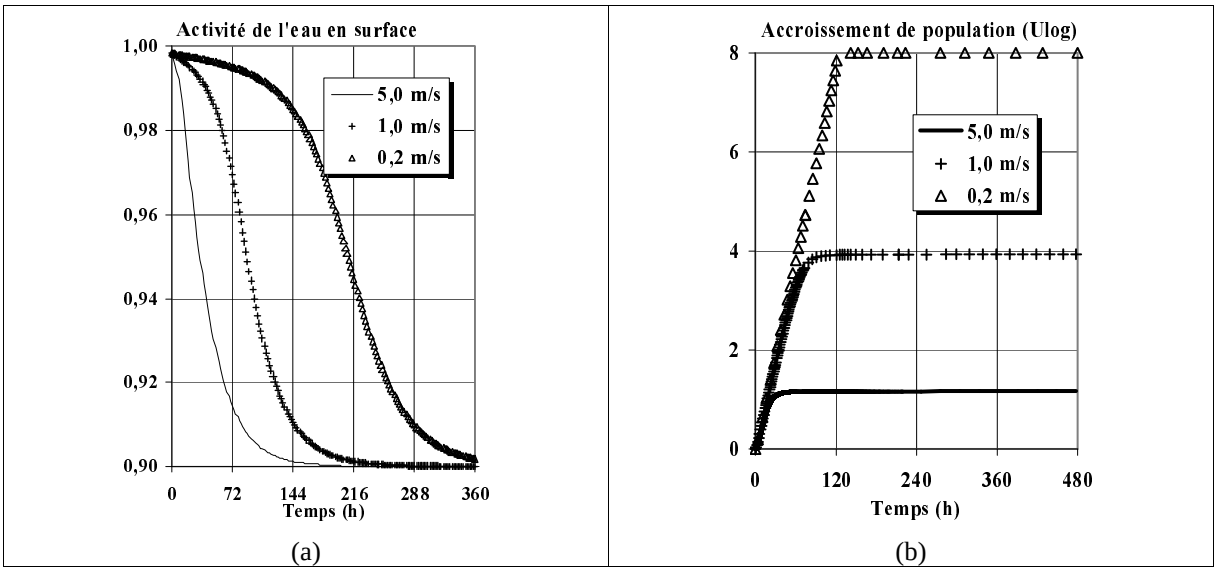


Figure 1 – Evolution de l'activité de l'eau et d'une population de *Pseudomonas spp.* en surface d'un gel de gélatine (épaisseur 1 cm) placé dans un flux d'air (T=10°C, HR=90%) de vitesse variable

L'épaisseur du produit est une variable importante car plus le produit est épais et plus la quantité d'eau disponible est importante : l'activité de l'eau en surface diminue plus lentement (Figure 2a). En conséquence, seule une épaisseur de 5 mm limite la croissance bactérienne (Figure 2b).

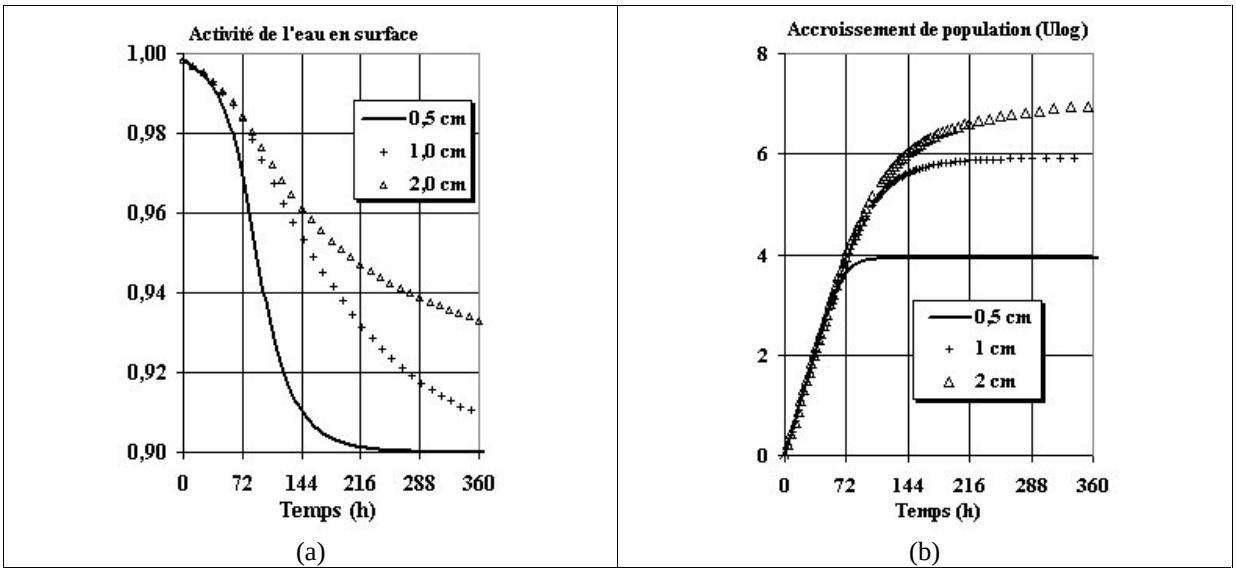


Figure 2 – Evolution de l'activité de l'eau et d'une population de *Pseudomonas spp.* en surface d'un gel de gélatine d'épaisseur variable placé dans un flux d'air (T=10°C, HR=90%)

La diffusivité de l'eau est un paramètre important pour le calcul du transfert d'eau à l'intérieur du produit. Elle détermine en partie l'activité de l'eau en surface du produit et conditionne partiellement la croissance bactérienne. Deux situations ont été testées : la première avec une diffusivité de l'eau fonction de la teneur en eau du produit (D=f(X)=a ;exp(b.X.exp(e.(X+f))+c).(a.X+b))) et la deuxième avec diffusivité constante (2.10^{-10} m^2/s). L'évolution de l'activité de l'eau en surface (Figure 3a) et de population finale sont légèrement différentes (Figure 3b).

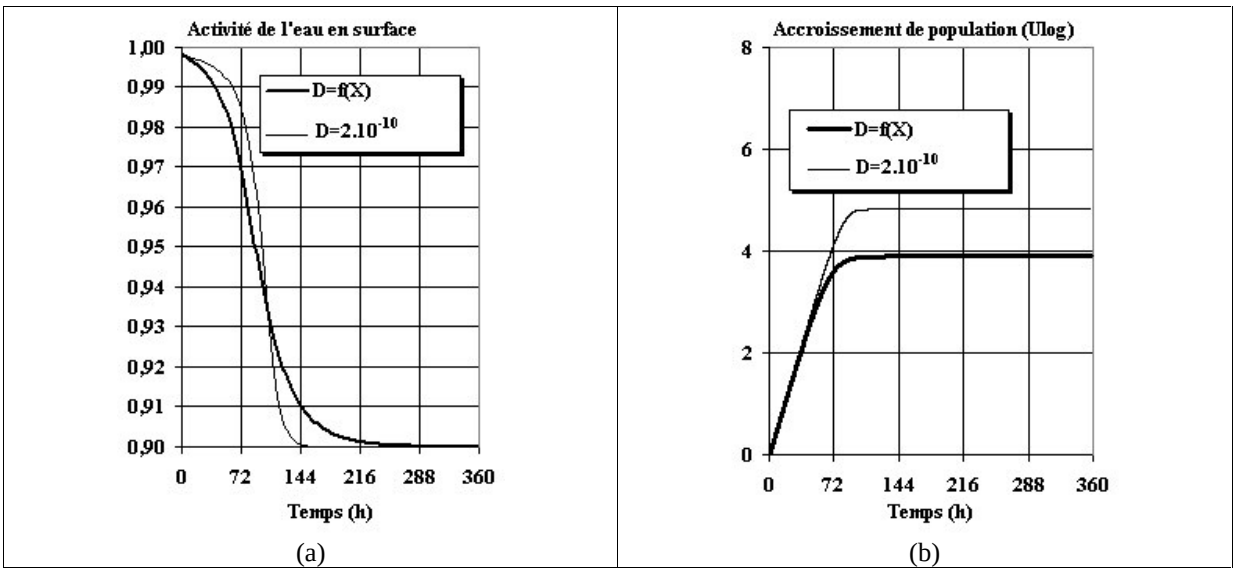


Figure 3 – Evolution de l'activité de l'eau et d'une population de *Pseudomonas spp.* en surface d'un gel de gélatine (épaisseur 1 cm) de diffusivité variable, placé dans un flux d'air (T=10°C, HR=90%, V=1 m/s)

Conclusion

Le modèle développé permet de calculer rapidement les conséquences d'une variable procédé ou produit sur l'évolution d'une population bactérienne. Il est utilisable pour toute bactérie dont la croissance a été étudiée et modélisée et pour tout produit dont on connaît notamment la courbe de sorption.

Bibliographie

P. Baucour, I. Lebert, A. Lebert, J.D. Daudin, 2002. Modélisation de la croissance de *Pseudomonas spp.* En surface d'un muscle de porc placé dans un flux d'air. Journées Agoral, Nancy, mars 2002

PREDICTION DES CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES ET TECHNOLOGIQUES DE LA VIANDE PORCINE PAR SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE

MEULEMANS A.[1], DOTREPPE O.[2], LEROY B.[1], ISTASSE L.[2] et CLINQUART A.[1]
Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Sart Tilman, Bât. B43, 4000 Liège
[1] Dépt. Sciences des denrées alimentaires (section Technologie)
[2] Dépt. Productions animales (section Nutrition)

Introduction

Les exigences des consommateurs en matière de la qualité de la viande et le besoin pour l'industrie d'objectiver celle-ci, justifient l'intérêt croissant pour des méthodes alternatives telles que la spectroscopie proche infrarouge (SPIR). Cette technique, rapide et non-destructive, semble être la plus prometteuse parmi les techniques potentielles. Cela a été démontré avec succès pour quelques applications sur le porc et le bœuf telles que la prédiction des propriétés technologiques et organoleptiques de tranches de bœuf, la détermination de la teneur en matière grasse et de la composition en acides gras de la viande bovine (Dotreppe *et al.*, 2000; Leroy *et al.*, 2000) ; mais aussi l'évaluation de la teneur en matière grasse de la viande porcine, la prédiction de la capacité de rétention d'eau et de la composition de la viande porcine (Irie, 1999; Brondum *et al.*, 2000).

Objectifs

Le but de cette étude a été d'estimer la capacité de la spectroscopie proche infrarouge à prédire les paramètres technologiques et organoleptiques de la viande porcine. Dans ce cadre, différents modèles mathématiques ont été construits au moyen d'une série d'échantillons servant à l'étalonnage de l'appareil ; la qualité des modèles a ensuite été évaluée en utilisant une série d'échantillons indépendants.

Matériel et Méthodes

Le muscle *longissimus thoracis* (12ème espace intercostal) a été prélevé 24 heures *post mortem* sur 185 carcasses de porcs. Dans le laboratoire, les échantillons ont été coupés en deux tranches. La première a été utilisée pour mesurer les paramètres technologiques et organoleptiques par des méthodes de référence (voir Meulemans *et al*., 2002), et la seconde tranche a été homogénéisée à l'aide d'un hachoir (jour 1) avant la prise spectrale (jour 2). Les échantillons homogénéisés ont été soumis à une analyse par SPIR avec le spectromètre à transformée de Fourier BOMEM MB 160D, dans une gamme spectrale comprise entre 4000 et 12000 cm^{-1}. La prise de spectres a été réalisée en mode réflexion à l'aide d'une sonde Axiom FDR-320. Chaque spectre a été obtenu à partir de 32 acquisitions spectrales. Trois spectres ont été pris sur chaque échantillon homogénéisé. Ensuite, un spectre moyen a été calculé pour construire la base de données.

Les 80 premiers échantillons ont été utilisés pour construire les modèles d'étalonnage pour les différents paramètres. Les traitements mathématiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Grams/32 (Galactic). Une analyse en composantes principales (PCA) a été effectuée préalablement pour détecter les spectres aberrants ou anormaux. Différents prétraitements mathématiques (correction de ligne de base, normalisation, dérivées…) ont été testés. Enfin, les modèles ont été établis avec l'algorithme PLS (Partial Least Square) et le nombre de composantes déterminé par validation croisée. Pour chaque paramètre, le meilleur modèle a été sélectionné sur base de la plus petite Erreur Standard de Validation Croisée (SECV). Une prédiction de chaque paramètre a ensuite été réalisée en utilisant le modèle sélectionné sur les 101 échantillons restants. La différence entre les valeurs prédites et les valeurs de référence a permis de calculer une Erreur Standard de Prédiction (SEP).

Résultats et discussion

Les performances des modèles obtenus pour les différents paramètres technologiques et organoleptiques sont reprises dans le tableau 1 (SECV et R^2cv : coefficient de détermination). Figurent également dans ce tableau, les paramètres statistiques décrivant la population d'échantillons servant à l'étalonnage de l'appareil SPIR. La qualité des modèles mathématiques a varié selon les paramètres. Les meilleurs modèles ont été obtenus pour le paramètre CIE L* et les pertes de jus par écoulement avec un R^2cv respectivement égal à 0,62 et 0,54. En ce qui concerne les pertes de jus par écoulement, des résultats proches ont été rapportés par Pedersen et Engelsen (2001) puisque le coefficient de corrélation (r) obtenu était de 0,77 ($R^2cv \approx 0,59$). Les deux autres paramètres relatifs à la couleur (CIE a* et CIE b*) ont été moins bien modélisés puisque le R^2cv a été égal respectivement à 0,40 et 0,38. Le modèle concernant le pH (jour 1) a montré une faible qualité, partiellement expliquée par la faible variabilité des valeurs mesurées (valeurs comprises entre 5,2 et 5,8). Aucun modèle n'a pu être obtenu pour les pertes de jus à la cuisson et pour la force maximale de cisaillement.

Des spectres obtenus sur des échantillons indépendants de la série d'échantillons participant à l'étalonnage de l'appareil, ont servi à prédire les différents paramètres étudiés. La comparaison entre les valeurs prédites par SPIR et les valeurs de référence a permis de calculer les performances de prédiction des modèles (SEP et R^2p). Les résultats obtenus sont repris dans le tableau 2. D'une manière générale, les performances des modèles ont été faibles puisque le R^2p le plus élevé a été obtenu pour le paramètre CIE b*; à savoir 0,32. Les performances de prédiction (R^2p) pour les paramètres CIE L*, CIE a* et pertes de jus par écoulement ont été nettement inférieures aux performances des modèles mathématiques présentés dans le tableau 1. Cette diminution des performances pourrait être expliquée par une trop faible variabilité spectrale au sein des échantillons servant à étalonner l'appareil SPIR. En effet, des sources de variation telles que la température au moment de la prise spectrale ou encore le bruit dans les données d'étalonnage et de prédiction peuvent entraîner une réduction des performances.

Tableau 1 : Performances des modèles établis en réflexion sur la viande porcine homogénéisée. Caractéristiques de la population étudiée pour chaque paramètre technologique ou organoleptique – Nombre d'échantillons (n); Minimum (min); Maximum (max); Moyenne (moy); Ecart-type (e-t) ; SECV et R^2cv.

Paramètres	n	min	max	moy	e-t	SECV	R^2cv
CIE L* (%)	75	47,3	65,8	54,2	4,2	2,53	0,62
CIE a*	77	2,9	9,7	6,3	1,3	1,22	0,40
CIE b*	77	11,5	19,3	15,5	1,6	1,18	0,38
pH (jour 1)	80	5,2	5,8	5,4	0,1	0,09	0,12
Pertes ec. (%)	74	1,6	9,7	5,6	2,1	1,41	0,54
Pertes cui. (%)	*						
F.max.cis. (N)	*						

* pas de modèle

Tableau 2 : Paramètres statistiques des données de prédiction et performances de prédiction des modèles établis en réflexion sur la viande porcine homogénéisée – SEP et R^2p.

n	min	max	moy	e-t	SEP	R^2p
101	43,9	66,4	55,0	5,1	4,74	0,18
73	2,4	10,7	6,7	2,0	1,87	0,15
73	12,8	19,8	15,8	1,5	1,34	0,32
89	5,1	5,6	5,4	0,1	0,08	0,07
78	2,4	10,8	6,6	1,9	2,35	0,11
°						
°						

° pas de prédiction

Paramètres technologiques et organoleptiques : CIE L*, a*, b* ; pH ; Pertes par écoulement ; Pertes à la cuisson ; Force maximale de cisaillement.

Conclusions

Cette étude met en évidence les potentialités des appareils SPIR pour la prédiction de plusieurs paramètres liés à la qualité de la viande porcine, en particulier les pertes de jus par écoulement. Par ailleurs, cette étude souligne que la validation de la technique, au moyen d'une série d'échantillons indépendants, est nécessaire afin de contrôler la capacité réelle des modèles à prédire les différents paramètres. Ces modèles pourraient être améliorés en utilisant un nombre plus élevé d'échantillons afin d'augmenter la variabilité dans la base de données et en maîtrisant tous les facteurs pouvant influencer les valeurs spectrales.

Bibliographie

Brondum J., Munk L., Henckel P., Karlsson A., Tornberg E. et Engelsen S.B., 2000. Prediction of water-holding capacity and composition of porcine meat by comparative spectroscopy. *Meat Science*, **55**, 177-185.

Dotreppe O., Lambotte S., Leroy B., Clinquart A., Lecocq H. et Istasse L., 2000. The use of near infrared spectroscopy to determine fat content and fatty acid composition in beef meat. *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*, Buenos Aires, Vol. I : 376-377.

Irie M., 1999. Evaluation of Porcine Fat with Fiber-Optic Spectroscopy. *Journal of Animal Science*, **77**, 2680-2683.

Leroy B., Lambotte S., Dotreppe O., Lecocq H., Istasse L. et Clinquart A., 2000. Prediction of technological and organoleptic properties of beef cuts by near infrared spectroscopy. *Proceedings of the 46th International Congress of Meat Science and Technology*, Buenos Aires, Vol. II : 610-611.

Meulemans A., Dotreppe O., Leroy B., Lecocq H., Istasse L. et Clinquart A., 2002. Prediction of technological and organoleptic properties of porcine meat by near infrared spectroscopy. *Proceedings of the 48th International Congress of Meat Science and Technology*, Roma, Vol. II : 822-823.

Pedersen D.K. et Engelsen B., 2001. Early prediction of quality of porcine meat by FT-IR spectroscopy. *Proceedings of the 47th International Congress of Meat Science and Technology*, Krakow, Vol. I : 204-205.

Remerciements

Cette étude a été financée par la Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie, Région Wallonne, Belgique (Convention NIR N°981/3723).

ETUDE PAR ANALYSE D'IMAGE DE LA RELATION ENTRE LA TENEUR EN COLLAGENE TOTAL ET LA DISTRIBUTION DU RESEAU CONJONCTIF PERIMYSIAL DANS LE MUSCLE BOVIN

S. ABOUELKARAM[1], P. BERGE[1], J.-F. HOCQUETTE[2], J. CULIOLI[1], A. LISTRAT[2]
[1]Station de Recherches sur la Viande
[2]Unité de Recherches sur les Herbivores
INRA, Theix, 63122 Saint Genès Champanelle, France

Introduction

Le tissu conjonctif du muscle squelettique est principalement composé de collagène et de lipides qui, de par leur fonction, se répartissent différemment au sein de ce tissu. Le collagène est, en effet, présent dans l'ensemble du muscle avec une distribution plus ou moins homogène, alors que le gras se présente sous forme d'amas correspondant à des groupes localisés d'adipocytes. La distribution de ces deux constituants influence les caractéristiques du muscle aussi bien sur le plan sensoriel que sur le plan mécanique [1]. Jusqu'à présent, la plupart des études ont porté sur la composition chimique du muscle et peu de travaux ont concerné la répartition spatiale de la trame conjonctive, et encore moins la distribution relative du gras et du collagène au sein de cette trame.

C'est la raison pour laquelle nous avons réalisé cette étude préliminaire en nous focalisant sur le collagène, critère de base pour déterminer l'importance du tissu conjonctif sur la tendreté de la viande. Ceci avait pour but d'établir des relations entre des critères de distribution du tissu conjonctif, obtenus par analyse d'image et la teneur en collagène total.

Matériel et Méthodes

Animaux *:* L'étude a été réalisée sur le muscle *semimembranosus* (SM) de deux groupes de vaches de réforme (VR) de 6-7 ans de race Holstein (n=12) ou Salers (n=12). Les vaches ont été abattues à même état d'engraissement apparent estimé *in vivo*. Tous les animaux ont reçu la même ration à base de pulpe de betterave surpressée et ensilée complémentée par du maïs grain, du tourteau de soja et de l'urée.

Dosage biochimique du collagène : Un échantillon de 550 g en moyenne a été prélevé dans chaque muscle, puis homogénéisés à l'aide d'un broyeur. La teneur en collagène total a été déterminée pour chaque muscle en frais sur 5 sous-échantillons de 3 g par dosage de l'hydroxyproline selon la méthode de Bergman et Loxley (1963) [2] modifiée par Bonnet et Kopp (1984) [3].

Analyse d'images sur tranche de muscle *:* Des images de tranche de muscle SM ont été réalisées sur un banc de mesures photographiques composé d'une caméra CCD noir et blanc (Sony MACC77), d'un système d'éclairage en lumière blanche polarisée et d'un micro-ordinateur pour la numérisation des images. Celles-ci avaient une dynamique de 256 niveaux de gris avec une résolution de 768 × 576 pixels représentant une surface de tranche de muscle de 5 × 4,5 cm.

Le traitement des images a été réalisé à l'aide de méthodes de seuillage et d'extraction d'objets (labellisation). Un algorithme de segmentation a permis d'extraire la surface d'objets retenus comme faisant partie du réseau conjonctif. La surface des objets a été exprimée en % de la surface totale de l'image. Une classification par taille a ensuite été effectuée pour produire les paramètres d'image caractéristiques des échantillons. Les paramètres ainsi déterminés sont porteurs d'information sur l'organisation du tissu conjonctif en terme de distribution de taille des éléments de la trame conjonctive. Les résultats ont été exprimés sous forme de pourcentage d'objets dans chaque classe par rapport au nombre total d'objets par image. Nous avons travaillé avec 20 variables correspondant chacune à la proportion d'objets dans chaque classe de taille.

Analyse statistique *:* L'ensemble des données a été analysé à l'aide du logiciel SAS (version 8.01). Les modèles de prédiction de la teneur en collagène total ont été déterminés par régression linéaire multiple pas à pas ascendante en utilisant la procédure REG de SAS (méthode STEPWISE). Cette méthode a permis de ne retenir que les variables les plus pertinentes au seuil de probabilité d'erreur de 5%, parmi les 20 disponibles, pour l'élaboration du modèle de prédiction.

Résultats

Les photographies de tranche de viande ont été réalisées en vue de mettre en évidence la trame conjonctive. Un exemple de ces images est donné en Figure 1 où la trame conjonctive apparaît en blanc sur fond noir. Les deux images présentées dans cette Figure sont issues de deux animaux présentant des teneurs en collagène total extrêmes (2,30 et 3,95 µg d'hydroxyproline/mg de matière sèche respectivement pour les Figures 1a et 1b).

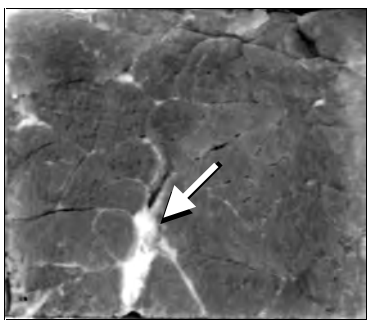


Figure 1a : Animal Salers (n° 555)

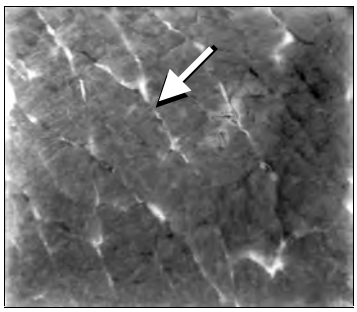


Figure 1b : Animal Holstein (n° 567)

Etapes	Variable	R^2 partiel	R^2 du modèle	F	Prob. > F
1	C0575	0,21	0,21	5,8	0,024
2	C0086	0,19	0,40	6,9	0,015
3	C1000	0,17	0,58	8,2	0,009
4	C0064	0,09	**0,67**	5,7	0,026

Tableau 1 : Résultat de la procédure de sélection des paramètres du modèle de calcul de la teneur en collagène total.

Les 4 variables les plus explicatives de la teneur en collagène total parmi les 20 étudiées sont présentées dans le tableau 1, et notées C0575, C0086, C1000 et C0064. Ces variables sont les pourcentages d'objets appartenant aux classes (C) correspondant respectivement aux intervalles de taille (en % de la surface totale de l'image) de]0,433 ; 0,575],]0,075 ; 0,086],]0,859 ; 1,00] et]0,054 ; 0,064].

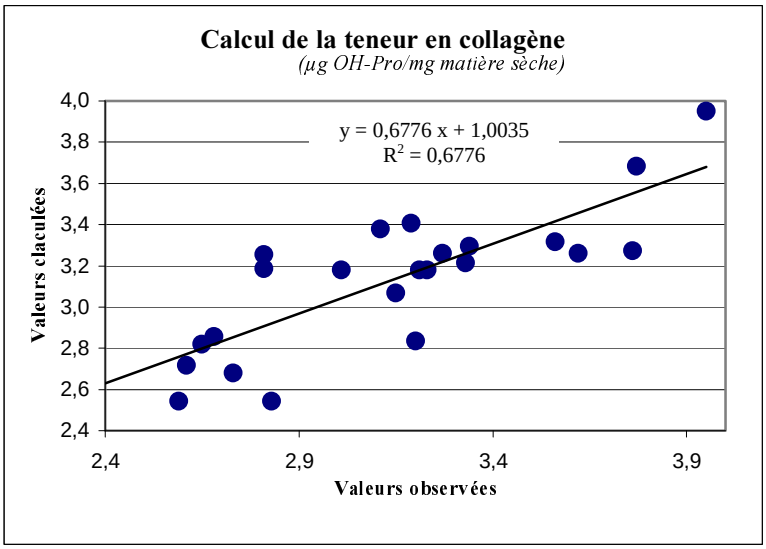


Figure 2 : Modèle de calcul de la teneur en collagène total.

La Figure 2 donne une représentation graphique du modèle déterminé par régression. La corrélation entre les données observées et les données calculées est de R = 0,82 donnant un coefficient de détermination simple de R^2 = 0,68 (significatif au seuil 5%). Ceci signifie qu'environ 68 % de la variabilité de la teneur en collagène est expliquée par seulement 4 paramètres. L'inclusion d'un paramètre supplémentaire (seuil de probabilité d'erreur 10%) améliore légèrement ce résultat (R^2 = 0,74). Ce modèle peut néanmoins être amélioré car (1) les zones de muscle ayant servies au dosage biochimique et à l'imagerie n'étaient pas exactement les mêmes, (2) les paramètres d'image qui ont été extraits ne sont pas sélectifs du collagène seul, mais aussi du gras intramusculaire, (3) les images ont été réalisées en lumière visible ne privilégiant aucune des composantes du muscle, d'où la nécessité d'un éclairage plus sélectif des constituants, (4) la taille des échantillons pourrait être optimisée afin de rendre ceux-ci plus représentatifs du muscle.

Conclusion

Le modèle élaboré a permis de donner une bonne estimation de la teneur en collagène total du muscle à partir de la distribution de la trame conjonctive bien que les paramètres d'imagerie qui ont été extraits ne soient pas spécifiques du collagène. Ce travail nécessite donc d'être approfondi en tenant compte de l'importance du tissu adipeux intramusculaire.

Remerciements

Nous remercions le Commissariat au Développement Economique et à l'Aménagement du Massif Central pour le financement de ces travaux, le personnel de l'URH, de la SRV et de l'abattoir de l'INRA de Theix pour la conduite des animaux, leur abattage dans des conditions contrôlées, le prélèvements des échantillons de viande et leur analyse au laboratoire.

Références

[1] Abouelkaram, S., Suchorski, K., Buquet, B., Berge, P., Culioli, J., Delachartre, P., and Basset, O., 2000. Effects of muscle texture on ultrasonic measurements. *Food Chemistry, 69*, 447-455.

[2] Bergman, I. and Loxley, R., 1963. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry, 35*, 1961:1965.

[3] Bonnet, M. et Kopp, J., 1984. Dosage du collagène dans les tissus conjonctifs, la viande et les produits carnés. *Cahiers Techniques de l'INRA, 5*, 19:30.

EFFET DES HAUTES PRESSIONS SUR LA RÉACTION ENTRE LA CATHEPSINE D ET LES MYOFIBRILLES BOVINES

M. DE LAMBALLERIE-ANTON, J. PERRON, S. JUNG, R. CHERET*
GEPEA, ENITIAA, BP 82225, 44322 Nantes cedex 3, France
e-mail : anton@enitiaa-nantes.fr

La maturation de la viande bovine est une étape technologique importante puisqu'elle conduit, lors d'un stockage à l'état réfrigéré pendant une période d'une à trois semaines, à une amélioraton des caractéristiques organoleptiques de la viande telles que la tendreté, la jutosité, la flaveur, et la couleur. Plusieurs systèmes enzymatiques sont impliqués dans ce processus de maturation, et parmi eux les enzymes lysosomales jouent un rôle important ; le présent travail s'est focalisé sur la cathepsine D qui est une des enzymes lysosomales les plus impliquées dans l'acquisition de la tendreté de la viande bovine.

Le traitement par hautes pressions était initialement utilisé dans l'industrie des céramiques. Il s'agit d'appliquer des pressions élevées pouvant atteindre 1000 MPa (10 000 bar). Dans les années 80, un programme de recherche a été lancé au Japon afin de transférer cette technologie à l'industrie agro-alimentaire. Depuis, l'intérêt porté à ce procédé a gagné l'Europe et les Etats-Unis où l'on trouve de nombreux produits pressurisés tels que jus de fruit, jambon cuit, confitures. La destruction des micro-organismes est le principal intérêt des hautes pressions : les aliments peuvent ainsi se conserver plus longtemps. De plus, le traitement par hautes pressions permet une meilleure préservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques, en comparaison avec un traitement thermique. Cependant la pression agit également au niveau des molécules constituant l'aliment : l'eau, les protéines, les glucides et les lipides peuvent être modifiés. Ainsi le traitement par hautes pressions de la viande bovine crue, qui est un aliment riche en protéines de diverses structures et en enzymes, conduit-il à certaines modifications de ces composants. Bien que les conséquences du traitement hautes pressions sur la matière biologique soient relatées dans un nombre important d'études, les mécanismes exacts mis en jeu restent néanmoins partiellement élucidés ; en effet, les modifications induites sont multiples et difficiles à caractériser sous pression. La compréhension des phénomènes ayant lieu au cours de la pressurisation, et la détermination de barèmes de temps et de pression susceptibles d'être appliqués industriellement à des produits alimentaires, sont le principal objet des travaux de notre équipe du laboratoire GEPEA de l'ENITIAA de Nantes, depuis une dizaine d'années.

La présente communication décrit les principaux résultats du laboratoire sur l'effet des hautes pressions (valeur de la pression et temps de traitement)sur la réaction entre la cathepsine D et les myofibrilles bovines.

Effet des hautes pressions, appliquées à la viande *post mortem*, sur l'activité de la cathepsine D évaluée par l'hydrolyse de l'hémoglobine

Lorsque la viande bovine (*Biceps femoris* ou *Longissimus dorsi*) est soumise, deux jours *post mortem*, à un traitement hautes pressions entre 0 et 600 MPa à 10°C, l'activité de la cathepsine D extraite de cette viande, et évaluée par l'hydrolyse de l'hémoglobine, est augmentée (figure 1), et cette augmentation se maintient au cours d'une conservation de la viande pendant 20 jours [1]. Cette augmentation est liée à la rupture de la membrane des lysosomes sous l'action des hautes pressions, qui permet un relargage important des enzymes dans le cytoplasme des cellules musculaires [2]. On pourrait s'attendre à ce que l'augmentation de la quantité d'enzymes présentes au contact des myofibrilles permette une amélioration de l'hydrolyse de ces myofibrilles et par conséquent une amélioration de la tendreté de la viande. Cependant nous avons démontré, au contraire, que la texture de la viande pressurisée, estimée par la force maximale déterminée avec le module de Warner-Bratzler, augmentait sous l'effet du traitement hautes pressions [1].

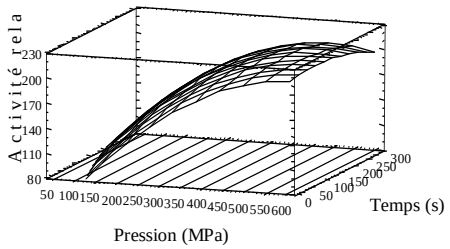


Figure 1 : Effet des hautes pressions, appliquées à la viande *post mortem*, sur l'activité de la cathepsine D

Nous avons également démontré que l'effet des hautes pressions, appliquées à la cathepsine D, sur l'activité de celle-ci évaluée par l'hydrolyse des myofibrilles (qui constituent son substrat naturel) était

augmentée sous l'effet des hautes pressions [3]. Ainsi les hautes pressions provoquent-elles une augmentation de l'activité de la cathepsine D, qui demeure susceptible d'agir sur les myofibrilles.

Aptitude de la cathepsine D, extraite de viande, à hydrolyser des myofibrilles traitées par hautes pressions

Dans la viande pressurisée, les enzymes et leur substrat subissent également la pression ; ainsi nous avons voulu déterminer si l'absence d'amélioration de tendreté de la viande après hautes pressions n'était pas due à une modification de la réceptivité du substrat à la cathepsine D : nous avons pour cela fait agir de la cathepsine D issue de viande sur des myofibrilles traitées par hautes pressions.

Les résultats (courbe non présentée) montrent que, quelles que soient les conditions de pression et de temps (identiques à celles de la figure 1) auxquelles les myofibrilles ont été soumises, la fraction de protéines myofibrillaires hydrolysée par la cathepsine D est supérieure à celle hydrolysée à partir de myofibrilles témoin. L'activité est optimale (160 % de l'activité témoin) pour une pression de 300 MPa, et un temps de pressurisation de 200 s. La pression agit donc sur les myofibrilles, qui se révèlent plus sensibles à la dégradation enzymatique, probablement à cause d'un changement de la structure protéique. Ainsi le traitement par hautes pressions des myofibrilles n'empêche-t-il pas l'action de la cathepsine D sur celles-ci.

Aptitude de la cathepsine D, extraite de viande puis pressurisée, à hydrolyser des myofibrilles traitées par hautes pressions

Ayant démontré que les hautes pressions favorisaient le relarguage et l'activité de la cathepsine D, et que les myofibrilles pressurisée étaient réceptives à l'action de la cathepsine D témoin, nous avons étudié l'aptitude de la cathepsine D, extraite de viande puis pressurisée, à hydrolyser des myofibrilles traitées par hautes pressions. Le 100 % d'activité est constitué par le résultat de l'incubation de myofibrilles non traitées avec un extrait cathepsine D non traité. La tendance (figure 2) est une augmentation progressive de l'activité avec la pression, un maximum d'activité, puis une diminution pour les pressions supérieures. Cependant, l'optimum de pression est décalé par rapport aux résultats précédents : 170 MPa au lieu de 300 MPa (135 % d'activité). Les valeurs d'activité sont plus faibles que lorsque l'enzyme n'est pas pressurisée (très peu supérieures à 100 %)

Pour les fortes pressions (> 300 MPa), l'activité est inférieure à l'activité du témoin. Dans ce cas, la pression a été néfaste à la réaction enzymatique. On explique cette diminution d'activité par une dénaturation de l'enzyme par la pression et/ou une modification de la conformation spatiale des myofibrilles qui les rendrait inaccessibles à l'enzyme. Ainsi aux fortes pressions, la reconnaissance du substrat par l'enzyme est affectée.

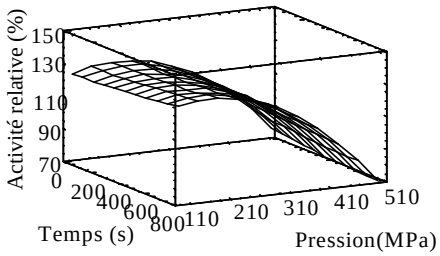


Figure 2 : activité de la cathepsine D pressurisée sur des myofibrilles pressurisées (aux mêmes pressions)

Conclusions

L'activité de la cathepsine D augmente après un traitement hautes pressions, avec un optimum situé à 300 MPa.

Les myofibrilles sont plus sensibles à l'action de la cathepsine D après un traitement hautes pressions, et. l'activité maximale se situe également à 300 MPa. Lorsqu'on pressurise à la fois la cathepsine D et les myofibrilles et qu'on les fait réagir ensemble, l'activité est plus faible. Elle devient même inférieure à l'activité du témoin pour les fortes pressions. Ceci pourrait expliquer le fait que la pression n'attendrit pas la viande, même si, séparément, elle favorise l'action de la cathepsine D et la dégradation des myofibrilles.

[1] Jung S., Ghoul M. & de Lamballerie-Anton M., *Meat Science* 56 3 239-246 (2000).

[2] Jung S., de Lamballerie-Anton M, Taylor R.G. & Ghoul M., *J. Agric. Food Chem*. 48 2467-2471 (2000)

[3] Jung S., Chapleau N., Ghoul M., de Lamballerie-Anton M. *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology,* Elsevier Science 541 (2002).

RELATION ENTRE ANALYSE SENSORIELLE ET METHODE INSTRUMENTALE. APPLICATION A LA TEXTURE DE LA VIANDE DE CHAROLAIS.

A. LEBECQUE, A. LAGUET, M. CHANONAT, S. LARDON, E. DUFOUR
ENITA de Clermont-Ferrand, site de Marmilhat, 63370 Lempdes- France
E-mail: lebecque@gentiane.enitac.fr

Objectif

La texture est une composante importante de la qualité et de l'acceptabilité de la viande, particulièrement des morceaux à griller. Ce travail a pour objectif d'étudier l'intérêt d'une méthode rapide instrumentale non destructive utilisable sur site pour prédire la durée optimale de maturation en relation avec la tendreté de la viande.
Cette étude vise à confirmer l'intérêt d'utiliser la spectroscopie de fluorescence comme outil de classement de la tendreté des muscles de carcasses de Charolais en fin de ressuyage. Les mesures instrumentales spectroscopiques seront mises en relation avec les mesures rhéologiques, les analyses sensorielles et les classements des professionnels sur ces mêmes muscles.

Matériel et méthodes

Echantillons de viande
L'étude a été réalisée sur les muscles semi-tendineux de 25 carcasses de Charolais de sexes (vache, génisse, bœuf) et d'âges (30 mois à 8 ans) variés. Les mesures instrumentales ont été effectuées aux 5ème jour (J+5), 7éme jour (J+7) et 12éme jour (J+12) après l'abattage de l'animal. Les analyses sensorielles se sont déroulées à J+7 et J+12. Les morceaux de viande étaient conservés en conditionnement sous-vide entre 0 et +2°C.

Mesures instrumentales
Les mesures mécaniques ont été réalisées à température ambiante en compression à l'aide d'un texturomètre.
Les spectres de fluorescence frontale ont été directement enregistrés sur les échantillons de muscle à l'aide du spectrofluorimètre Fluoromax (Jobin-Yvon).

Analyses sensorielles
Dix sujets (25 à 45 ans) ont été sélectionnés et entraînés à l'analyse descriptive pour l'élaboration de profils réduits de texture sur ces échantillons. Huit descripteurs ont été utilisés : tendreté initiale, tendreté globale, résidu, élasticité, filandreux, persillé, jutosité et humide.
Quarante-trois échantillons ont été dégustés : ils étaient grillés à 180°C pendant 30 secondes sur chaque face, le sujet dégustait en aveugle trois morceaux (15x15x15mm) à température ambiante. Les échantillons ont été présentés simultanément selon un plan d'expérience équilibré complet en équilibrant les effets d'ordre et l'effet du produit précédent avec répétitions.
Les données ont été traitées grâce au système TASTEL (ABT Informatique, Paris, France).

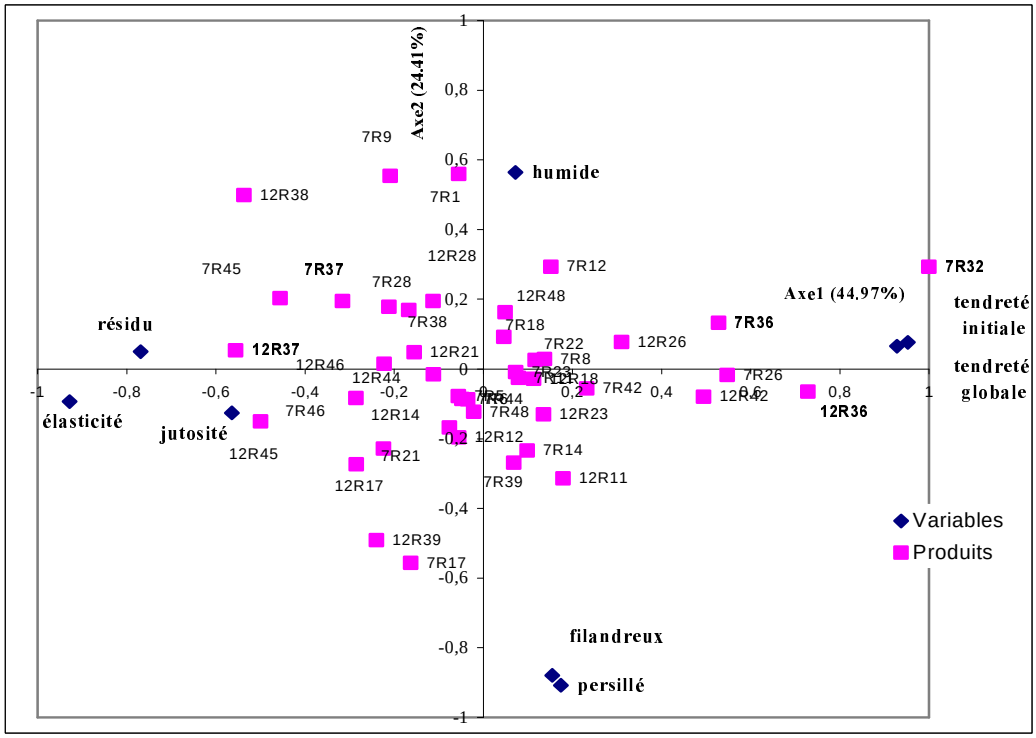
Résultats de l'analyse sensorielle

Le jury a défini 8 descripteurs de texture dont 3 attributs d'aspect : persillé, filandreux, humide et 5 attributs en bouche : élasticité, tendreté initiale, jutosité, tendreté globale, résidu en bouche. Une ACP a été réalisée sur l'ensemble des données. Les composantes principales 1 et 2 expliquent respectivement 44.97 et 24.41% de la variance (soit environ 70%).
Les descripteurs d'aspect s'opposent sur l'axe 2 (humidité opposé à filandreux, persillé), les attributs en bouche se positionnent sur l'axe1. Tendretés initiale et globale sont proches et opposées à résidu, élasticité et jutosité.

Tableau 1. Coefficients de corrélations entre les descripteurs

Corrélations négatives	Corrélations positives
Tendreté initiale/élasticité : - 0.89	Tendreté initiale/tendreté globale : + 0.90
Tendreté globale/élasticité : - 0.87	Filandreux/persillé : + 0.80
Tendreté globale/résidu : - 0.74	Elasticité/résidu : + 0.60
Tendreté initiale/résidu : - 0.61	Jutosité/élasticité : + 0.47

Graphique 1. Analyse en composantes principales des données sensorielles



Légende des échantillons : 1er nombre : jour de maturation, R : rond de gîte, dernier nombre : n° échantillon

Le graphique 1 montre que les échantillons se différencient en majorité par leur texture en bouche. La maturation de la viande entre J+7 et J+12 a 2 effets sur la texture en bouche : soit celle-ci n'évolue quasiment pas soit elle progresse en accentuant l'observation à J+7. En effet les viandes tendres s'attendriront davantage (ex : 7R36 et 12R36) alors que les plus élastiques ne s'amélioreront pas (7R37 et 12R37).

Lors d'une étude précédante, nous avons montré aux moyens de l'analyse canonique des corrélations que les spectres de fluorescence enregistrés sur différentes pièces de viande étaient corrélés aux données de l'analyse sensorielle (coefficient de corrélation canonique = 0, 933 ($p < 0,001$)) et aux mesures texturométriques (coefficient de corrélation canonique = 0, 914 ($p < 0,001$)). Les résultats obtenus lors de cette première expérience étaient encourageants et laissaient entrevoir la possibilité de développer un appareil de spectroscopie de fluorescence utilisable en site industriel par les professionnels, c'est-à-dire permettant de faire des mesures rapides directement sur les carcasses après abattage.

Conclusion

Ce travail sur la viande charolaise sera poursuivi par des comparaisons globales de données sensorielles et spectroscopiques afin de vérifier l'intérêt, pour la prédiction de la durée de maturation, de cette méthode instrumentale non destructive utilisable en ligne sur site de production.

Remerciements

Ce programme est réalisé en collaboration avec l'Institut Charolais (Y.Mercier), la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire (Y. Durand) et l'ADIV (J..Francia, E.Thomas), et cofinancé dans le cadre d'un programme LEADER