

## **Produire de la viande bovine enrichie en acides gras polyinsaturés oméga 3 à partir de graines de lin : quelles modalités d'apport du lin, quelles conséquences sur la qualité de la viande ?**

J. NORMAND (1), D. BASTIEN (2), D. BAUCHART (3), F. CHAIGNEAU (4), G. CHESNEAU (5), M. DOREAU (3), J.P. FARRIE (6), A. JOULIE (4), D. LE PICHON (7), C. PEYRONNET (8), A. QUINSAC (9), J. RENON (10), D. RIBAUD (11), F. TURIN (12), P. WEILL (5)

(1) Institut de l'Élevage, Service Viande, Actipole, 5 rue Hermann Frenkel, 69364 Lyon cedex 07

(2) Institut de l'Élevage, Service Viande, Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu cedex

(3) INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

(4) Chambre d'Agriculture de Vendée, Ferme expérimentale des Etablières, 85000 La-Roche-sur-Yon

(5) VALOREX, La Messayais, 35210 Combourtille

(6) Institut de l'Élevage, Service Viande, 6 rue de Lourdes, 58000 Nevers

(7) Chambre d'Agriculture de Bretagne, Station expérimentale de Mauron, La Touche ès Bouviers, 56430 Mauron

(8) ONIDOL, 12 avenue Georges V, 75008 Paris

(9) CETIOM, Rue Monge, Parc Industriel, 33600 Pessac

(10) Chambre d'Agriculture de Saône et Loire, Ferme expérimentale de Jalogny, Prairie, 71250 Jalogny

(11) Institut de l'Élevage, Service Biométrie, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12

(12) Institut de l'Élevage, Service Viande, Route d'Epinay, 14310 Villers-Bocage

**RESUME** - Sur le plan nutritionnel, la viande bovine souffre de son image de produit riche en graisses saturées contre lesquelles s'élèvent les nutritionnistes qui préconisent des teneurs accrues en acides gras polyinsaturés *n-3*. Il semble possible de modifier sa composition en acides gras dans ce sens là, en incorporant du lin dans l'alimentation des animaux. Une série d'expérimentations a donc été mise en place pour préciser les modalités d'apport de la graine de lin et ses effets sur les performances zootechniques des animaux, sur la valeur nutritionnelle des lipides de la viande et sur ses qualités sensorielles perçues en bouche. L'incorporation de graines de lin dans l'alimentation des animaux ne modifie pas l'état d'engraissement ou la couleur des viandes. En revanche, elle a un effet marqué sur la valeur nutritionnelle de la viande. La teneur en acides gras polyinsaturés *n-3* des lipides intramusculaires est fortement augmentée et le rapport C18:2 *n-6* / C18:3 *n-3* diminué rendant la composition en acides gras de la viande plus conforme aux recommandations des nutritionnistes. L'enrichissement en acides gras polyinsaturés *n-3* est accru d'environ 50 % avec la graine de lin extrudée par rapport à la graine de lin aplatie, ce qui correspond à un flux de C18:3 *n-3* plus élevé à la sortie du rumen. Enfin, la saveur des viandes ne semble pas être modifiée par l'enrichissement de celles-ci en acides gras polyinsaturés *n-3*.

## **Production of beef meat supplemented with *n-3* polyunsaturated fatty acids from linseed: which form and which quantity for linseed supplementation? What effects on meat quality?**

J. NORMAND (1), D. BASTIEN (2), D. BAUCHART (3), F. CHAIGNEAU (4), G. CHESNEAU (5), M. DOREAU (3), J.P. FARRIE (6), A. JOULIE (4), D. LE PICHON (7), C. PEYRONNET (8), A. QUINSAC (9), J. RENON (10), D. RIBAUD (11), F. TURIN (12), P. WEILL (5)

(1) Institut de l'Élevage, Service Viande, Actipole, 5 rue Hermann Frenkel, 69364 Lyon cedex 07

**SUMMARY** - On a nutritional level, beef meat suffers from its image of product with high saturated fatty acids content, criticized by nutritionists who recommend higher supplies of *n-3* polyunsaturated fatty acids. Fatty acid composition can be modified to that aim by incorporating linseed into the animal' feed. This study was launched in order to point out how linseed can affect the animal' zootechnical performances, the nutritional value of the lipids and the organoleptic qualities of the meat. Incorporating linseed into the diets of bovine did not affect the fattening or the red colour of the meat. However, it had a strong effect on the nutritional value of the meat fatty acids. The *n-3* polyunsaturated fatty acid content was highly increased and the C18:2 *n-6* / C18:3 *n-3* ratio was reduced so that it was more in accordance with the nutritionists' recommendations. The enrichment was around 50% higher with extruded linseed compared to crushed linseed. Finally, the meat flavour did not seem to be altered by the enrichment in *n-3* polyunsaturated fatty acids of meat lipids.

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les Français sont de plus en plus sensibles à la valeur nutritionnelle des aliments qu'ils consomment. La viande bovine n'échappe pas à ce phénomène. D'un point de vue nutritionnel, elle souffre d'une image de produit gras, riche en acides gras saturés contre lesquels s'élèvent les nutritionnistes. Ces derniers recommandent des apports en lipides insaturés et plus particulièrement en acides gras polyinsaturés *n-3* (AGPI *n-3* ou oméga 3). Les apports nutritionnels conseillés (ANC) pour la population française (Martin, 2001) préconisent une augmentation des apports en AGPI *n-3*, pour tendre vers un rapport C18:2 *n-6* / C18:3 *n-3* proche de 5. Ce rapport est actuellement voisin de 11 dans la population française (étude SU.VI.MAX).

Pour suivre ces recommandations sans modifier les habitudes alimentaires des français, une solution consiste à enrichir naturellement les produits d'origine animale en acides gras bénéfiques pour la santé, *via* l'alimentation des animaux. Ainsi, de nombreux essais ont été conduits pour modifier le profil en acides gras des produits alimentaires *via* l'alimentation des animaux, à partir des deux principales sources naturelles d'AGPI *n-3*, l'herbe jeune et la graine de lin. Chez les monogastriques, il est bien établi que la nature des acides gras ingérés influence largement la composition des tissus adipeux (Lebret *et al.*, 1999 ; Lessire, 2001 ; Mourot et Hermier, 2001). Ainsi, aussi bien chez le poulet que chez le porc (Kouba *et al.*, 2003 ; Wilfart *et al.*, 2004), l'apport de graines de lin dans la ration alimentaire permet d'enrichir fortement la teneur en AGPI *n-3* de la viande. Chez les gros bovins, la situation est très différente de celle rencontrée chez les monogastriques : la très grande majorité des acides gras alimentaires sont hydrogénés au niveau du rumen et sont donc faiblement incorporés dans les produits. Toutefois, chez la vache laitière, la supplémentation lipidique de la ration alimentaire permet de moduler sensiblement la composition lipidique du lait (Brunschwig *et al.*, 1997 ; Chilliard *et al.*, 2000). S'agissant de la viande

bovine, les résultats sont encore partiels. Quelques travaux ont été centrés sur l'utilisation de l'herbe comme source d'AGPI *n-3* (French *et al.*, 2000 ; Bauchart *et al.*, 2001 ; Scollan *et al.*, 2005). Ils ont montré que la consommation d'herbe favorisait l'incorporation d'AGPI *n-3* dans les lipides musculaires et améliorait la valeur santé de la viande bovine. Des conclusions similaires ont été obtenues dans les premiers essais sur l'incorporation de graines de lin extrudées dans l'alimentation des gros bovins (Bastien, 2001 ; Bauchart *et al.*, 2005).

Un programme de travail concerté (Institut de l'Elevage, CETIOM, fermes expérimentales des Etablières (85), de Jalogny (71) et de Mauron (56), INRA-URH, ONIDOL VALOREX) et pluriannuel (2002-2005) a été conduit. Il avait pour objectifs de préciser les modalités d'apport de lin (forme de présentation, quantité et durée d'apport) pour une production de viande bovine enrichie en oméga 3 et d'apprécier les conséquences de cet apport sur les performances zootechniques des animaux et sur la composition en acides gras, les qualités organoleptiques et l'aptitude à la conservation de leurs viandes. Les résultats de ce programme sont présentés dans ce document.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Neuf essais visant à préciser l'impact d'un apport de graines de lin dans l'alimentation des gros bovins ont été réalisés en stations expérimentales (Etablières (85), Jalogny (71), Mauron (56)) entre 2003 et 2005 (tableau 1). L'enrichissement des viandes en AGPI *n-3* étant susceptible de varier en fonction de leur teneur en lipides, ces essais ont été réalisés avec différents types d'animaux plus ou moins jeunes et plus ou moins précoces (race / sexe), produisant des viandes très maigres ou plus grasses, couvrant la gamme de teneurs en lipides fréquemment rencontrée pour les viandes bovines françaises. Il s'agissait de jeunes bovins Blonds d'Aquitaine et Charolais, de génisses Blondes d'Aquitaine et de vaches de réforme Charolaises.

**Tableau 1** : dispositifs expérimentaux

Site	Etablières	Jalogny	Jalogny	Mauron	Etablières	Jalogny	Jalogny	Mauron	Etablières
Année	2003	2003	2003	2003	2004	2004	2004	2004	2004
Essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Type d'animal	Jeune bovin Blond	Vache Charolaise	Jeune bovin Charolais	Génisses Blondes	Jeune bovin Blond	Vache Charolaise	Jeune bovin Charolais	Génisses Blondes	Jeune bovin Charolais
Ration de base	90 % conc. 10 % paille	75 % ens. maïs + paille 25 % conc.	55 % ens. maïs + paille 45 % conc.	58 % ens. maïs + foin 42 % conc.	90 % conc. 10 % paille	75 % ens. maïs + paille 25 % conc.	55 % ens. maïs + paille 45 % conc.	54 % ens. maïs + foin 46 % conc.	55 % ens. maïs + paille 45 % conc.
Lots	- Témoin - 750 g LE - 750 g LA	- Témoin - 750 g LE - 750 g LA - Herbe	- Témoin - 750 g LE - 750 g LA	- Témoin - 750 g LE - 750 g LA	- Témoin - 750 g LE - 750 g LA	- 750 g LE - 375 g LE - 1 kg LA - Herbe	- 750 g LE - 1 kg LA	- Témoin - 750 g LE - 1,5 kg LE - Herbe	- 750 g LE - 750 g LE - 1,5 kg LE sur 50 j
Caractéristiques des animaux au début de la phase expérimentale									
Poids (kg)	568 ± 42	703 ± 71	556 ± 30	600 ± 32	592 ± 57	698 ± 66	591 ± 48	613 ± 59	603 ± 43
Age (mois)	13,2 ± 0,3	72,0 ± 21,7	15,4 ± 0,6	26,2 ± 1,3	13,4 ± 0,7	59,1 ± 16,7	15,1 ± 1,1	24,7 ± 0,7	13,5 ± 0,5
Etat <sup>1</sup>				2,7 ± 0,1		2,1 ± 0,3		2,6 ± 0,1	

LE : graine de lin extrudée, LA : graine de lin aplatie.

<sup>1</sup> Note d'état corporel allant de 1 pour des animaux maigres à 5 pour des animaux gras.

Par ailleurs, le ratio fourrage / concentré de la ration alimentaire pouvant influencer sur l'hydrogénation ruminale des acides gras insaturés et donc sur l'enrichissement des viandes en AGPI, ces essais ont été conduits avec différentes rations de base plus ou moins riches en aliment concentré.

Cinq essais (1 à 5) traitaient des effets de la forme de présentation de la graine de lin (aplatie vs. extrudée). Dans ces essais, trois lots de 12 à 14 animaux étaient comparés : un lot "témoin" conduit de façon classique sans lin, un lot "lin extrudé" recevant 1,5 kg de Croquelin® (produit extrudé contenant 50 % de lin, 30 % de son de blé et 20 % de tourteau de tournesol) et un lot "lin aplati" recevant 1,5 kg d'un mélange fermier à base de lin aplati et formulé sur la base du Croquelin® (50 % de lin aplati, 30 % de son de blé et 20 % de tourteau de tournesol). Ces régimes expérimentaux étaient apportés au cours des 100 derniers jours de finition des animaux. Les quatre derniers essais étaient centrés sur la quantité d'apport de la graine de lin. Ainsi dans les essais 6 et 8, trois quantités de lin extrudé (375 g/j, 750 g/j et 1,5 kg/j pendant les 100 derniers jours de finition) ont été comparées. Compte tenu des résultats d'enrichissement des viandes en AGPI *n-3* obtenus avec les deux formes de présentation de la graine, une quantité de 1 kg/j de graine de lin aplati a été comparée à 750 g/j de lin extrudée dans les essais 6 et 7. Enfin, différentes stratégies d'apport du lin extrudé ont été comparées dans le dernier essai (essai 9) : 750 g/j de lin extrudé pendant les 100 derniers jours de finition, 750 g/j de lin extrudé pendant les 50 derniers jours de finition, 1,5 kg/j de lin extrudé pendant les 50 derniers jours de finition. Dans la mesure du possible, intra essai, les régimes étaient iso-énergétiques et iso-azotés.

Par ailleurs, afin de positionner la composition en acides gras des viandes des animaux engraisés avec des régimes à base de graine de lin par rapport à l'herbe jeune (l'autre source majeure d'AGPI *n-3*), trois lots d'animaux ont été finis à l'herbe (essais 2, 6 et 8). Ces animaux étaient conduits en pâturage tournant sur de bonnes prairies naturelles (essais 2 et 6) ou des prairies de *ray grass* anglais et trèfle blanc (essais 2 et 8) et disposaient de repousses de qualité, de la mise à l'herbe (fin mars début avril) jusqu'à l'abattage (juillet à novembre).

Afin d'expliquer les différences éventuelles de composition en acides gras des viandes, un essai de digestion a été mené à l'INRA de Theix (63) sur vaches de réforme selon un schéma en carré latin 4x4. Ainsi, quatre vaches porteuses de canules du rumen et du duodénum ont reçu un régime composé de 60 % d'ensilage de maïs, 10 % de foin, 15 % d'un aliment concentré de production et 15 % d'un aliment concentré expérimental. Les quatre aliments concentrés expérimentaux contenaient du tourteau de lin en quantité équivalente et, à l'exception du lot "témoin", des lipides du lin apportés sous trois formes de présentation, graines de lin aplaties / graines de lin extrudées / huile + tourteau de lin, à raison de 3% de la ration (tableau 2).

## 1.2. MESURES REALISEES

### 1.2.1. Caractérisation des produits à base de lin

La qualité de l'aplatissage de la graine de lin effectué sur chaque site expérimental a été déterminée par analyse granulométrique d'échantillons de 50 g prélevés au cours

**Tableau 2 :** régimes de l'essai de digestion (% matière sèche)

Régimes	Témoin	Lin extrudé	Lin aplati	Huile + tt. lin
Ens. maïs	60	60	60	60
Foin luzerne	10	10	10	10
Concentré <sup>1</sup>	15	15	15	15
Croquelin <sup>2</sup>	-	15	-	-
Lin aplati	-	-	7,5	-
Huile de lin	-	-	-	3,0
Tourteau de lin	4,5	-	-	4,5
Son de blé	4,5	-	4,5	4,5
Tt. tournesol	3,0	-	3,0	3,0
Maïs	3,0	-	-	-

<sup>1</sup> Concentré de production : blé (20 %), orge (20 %), pulpe de betterave (30 %), tourteau de colza (15 %), tourteau de soja (9 %), mélasse (2 %), minéraux (4 %).

<sup>2</sup> Croquelin® : produit extrudé contenant 50 % de lin, 30 % de son de blé et 20 % de tourteau de tournesol.

de chaque séquence d'aplatissage. Par ailleurs, une mesure de la teneur en acide cyanhydrique et une étude de vieillissement ont également été effectuées sur la graine de lin aplatie et le Croquelin®. Pour l'étude de vieillissement, les graines aplaties étaient stockées en tas sous abri et le Croquelin®, en sacs de 50 kg. Des échantillons de chaque produit ont été prélevés lors de la fabrication et après 15, 30, 60, 90 et 120 jours de conservation. Des mesures d'indice de peroxyde (NF T60-220 - octobre 1995) et de tocophérols totaux (NF ISO 9936 - janvier 2002) ont été réalisées sur ces échantillons.

### 1.2.2. Performances zootechniques

Dans chaque essai, les performances de croissance des animaux ont été mesurées sur la période expérimentale. A l'abattoir, chaque carcasse a fait l'objet des mesures suivantes : poids de carcasse froide, notation de la conformation et de l'état d'engraissement (classement EUROP), poids des gras de bassins, rognons et émoussage, appréciation de la couleur, de l'odeur et de la tenue du gras de couverture suivant une grille binaire (problème majeur / absence de problème). A la coupe primaire de la carcasse, des mesures complémentaires ont été effectuées sur le muscle Long dorsal (*Longissimus thoracis*) au niveau de la cinquième côte : notation visuelle du gras intermusculaire ou marbré (grille Institut de l'Élevage en 5 classes) et du gras intramusculaire ou persillé (grille USDA en 9 classes), mesure de la couleur de la viande par colorimétrie (chromamètre CR-300 de Minolta) en observant une heure de ré-oxygénation après la coupe.

### 1.2.3. Teneur en lipides et profil d'acides gras

Pour tous les essais, les analyses de la teneur en lipides et de la composition en acides gras ont été effectuées sur 10 animaux par lot à partir de 100 g de muscle Long dorsal cru prélevé au niveau de la sixième côte. Ce muscle présente l'intérêt d'avoir une teneur en lipides intermédiaire de celle d'autres muscles de la carcasse, d'être volumineux et d'avoir une très bonne valorisation commerciale. Dans les essais 5, 6, 8 et 9, et pour 8 animaux par lot, ces analyses ont également été réalisées sur un muscle plus gras (diaphragme, *Diaphragma*) et sur un muscle plus maigre (droit de l'abdomen (*Rectus adbominis*) pour les mâles, semitendineux (*Semitendinosus*) pour les femelles). Les fibres de ces muscles ont un type métabolique différent de celles du Long dorsal (oxydatif pour le diaphragme, oxydo-

glycolytique pour le droit de l'abdomen et le semitendineux, glycolytique pour le Long dorsal). La composition en acides gras du Long dorsal cuit a également été analysée pour 10 animaux des lots Témoin et Lin extrudé des essais 2 et 4. Il s'agissait d'une cuisson grillée saignante (57°C à cœur, sans ajout de matière grasse).

Pour l'ensemble des échantillons, excepté ceux de l'essai 8, les matières grasses ont été extraites à l'éther de pétrole à chaud après hydrolyse à l'acide chlorhydrique (norme NF V 04-402 - janvier 1968). Les acides gras ont ensuite été saponifiés et méthylés au trifluorure de bore (norme NF EN ISO 5509) puis analysés par chromatographie en phase gazeuse (CPG, normes NF EN ISO 5508 - juin 1995 / NF EN ISO - juin 2000). Dans l'essai 8, l'extraction des lipides de la viande a été réalisée par broyage à 20°C dans le chloroforme/méthanol 2/1 (Folch *et al.*, 1957). La préparation et l'analyse par CPG des acides gras ont été réalisées suivant les méthodes décrites par Bauchart *et al.* (2005).

#### 1.2.4. Qualités sensorielles perçues en bouche

Pour tous les essais (sauf essai 7), l'analyse sensorielles des viandes de 8 animaux par lot (mêmes animaux que pour les analyses de composition en acides gras) a été réalisée par un jury de 12 experts formés au produit viande. Au travers de dégustations comparatives (pour chaque essai, 8 assiettes avec un animal de chaque lot par assiette), les experts ont évalué la flaveur et la tendreté des viandes sur une échelle continue non structurée de 0 à 100 (0 : intensité nulle, 100 : intensité maximale). Ces dégustations ont porté sur le muscle Long dorsal en fin de durée de conservation (7 à 8 jours sous vide puis 4 à 5 jours en barquette sous film étirable). Les morceaux dégustés étaient présentés sous forme de cubes rôtis (cuisson à 57°C à cœur) sans assaisonnement.

#### 1.2.5. Digestion des rations

Les mesures ont concerné la digestibilité totale et la digestion ruminale de la matière organique et des parois, la composition des acides gras volatils ruminiaux, la teneur en protozoaires du rumen et le flux d'acides gras à la sortie du rumen, ce qui correspond aux acides gras absorbables par l'animal. Le flux duodénal a été mesuré par double marquage avec du chlorure d'ytterbium et du cobalt-EDTA. Les acides gras ont été extraits et analysés par CPG selon les procédures décrites par Looor *et al.*, (2004).

### 1.3. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données des essais de production ont été traitées par analyse de variance à l'aide du logiciel SAS (version 8.2). Certaines analyses ont nécessité des transformations logarithmiques en préalable aux analyses statistiques. La première année, les données des essais 1, 2 3 et 4 ont été traitées de façon simultanée en prenant en compte dans le modèle l'interaction "essai x traitement" dans le modèle. La deuxième année, les schémas expérimentaux étant différents, les données de chaque essai ont été analysées séparément. Le facteur "bloc" qui a servi à l'allotement des animaux a été introduit dans les modèles statistiques posés pour les données zootechniques et les données d'abattage. Selon les essais et les critères analysés, les tests réalisés ont été des tests de différence, des tests d'équivalence et des tests de non supériorité. Etant dans un contexte d'analyses "confirmatoires" ("Confirmatory Analysis"), les tests ont été corrigés (correction de Bonferroni) de façon à contrôler le risque d'erreur global par famille de critères (données

zootechniques, données d'abattage, composition en acides gras des muscles, qualités perçues en bouche) sur l'ensemble de tous les tests générés par tous les critères ("FamilyWise Error rate", FWE ; Hochberg et Tamhane, 1987). Dans le contexte confirmatoire, les données sont donc assorties de test et de degré de signification. Ce n'est pas le cas dans le contexte exploratoire (analyse descriptive), aucun test n'ayant été réalisé dans ce contexte.

Les données de l'essai de digestion ont été traitées selon un dispositif en carré latin : traitement, animal, période.

## 2. RESULTATS

### 2.1. CARACTERISATION DES PRODUITS A BASE DE LIN

Bien qu'il n'ait pas été effectué avec un aplatisseur industriel mais avec des aplatisseurs du type de ceux habituellement rencontrés en élevages, l'aplatissage de la graine de lin a été relativement sévère sur les sites expérimentaux des Etablières, de Jalogny et de Mauron (tableau 3). Sur ces sites, seulement 10 % des particules étaient supérieures à 2 mm, taille qui correspond à des graines entières ou très faiblement endommagées. L'aplatissage réalisé sur le site de Jalogny a été un peu plus modéré que ceux effectués aux Etablières et à Mauron, la part de particules de taille comprise entre 0,8 et 2 mm étant plus importante (72 % à Jalogny contre 58 % dans les deux autres sites). L'aplatissage réalisé sur le site de Theix a été le moins sévère de tous, avec plus de 20 % de particules de taille supérieure à 2 mm.

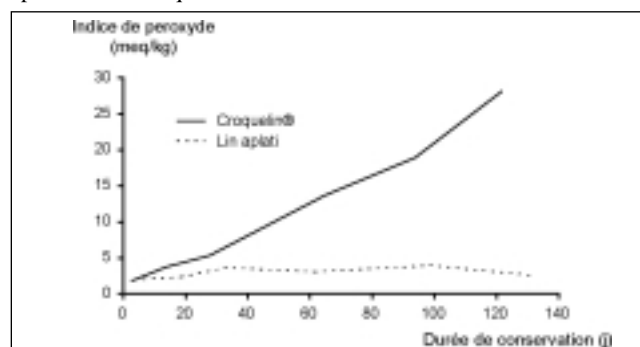
**Tableau 3 :** analyse granulométrique de la graine de lin aplatie dans les quatre sites expérimentaux (% pondéral)

Particules	Etablières	Jalogny	Mauron	Theix
> 2 mm	11,4	8,3	9,7	22,6
0,8 – 2 mm	58,4	71,6	58,4	62,0
0,4 – 0,8 mm	18,8	14,4	18,4	9,4
0,2 – 0,4 mm	11,1	5,2	13,5	4,3
0,1 – 0,2 mm	0,3	0,4	0,0	1,7

Par ailleurs, le traitement par extrusion a permis de réduire la teneur en acide cyanhydrique du lin, celle-ci étant inférieure à 10 mg/kg pour le Croquelin® et comprise entre 165 et 240 mg/kg pour la graine de lin aplatie.

S'agissant du vieillissement de ces produits, les résultats sur la graine aplatie ont montré que ce produit était très stable pendant la conservation. L'indice de peroxyde est resté faible pendant toute la durée de l'expérimentation (figure 1) et la teneur en tocophérols proche de la valeur initiale. En revanche, la graine de lin extrudée est apparue plus sensible avec une augmentation régulière et importante de l'indice de peroxyde et une baisse continue de la teneur en vitamine E au cours de la conservation.

**Figure 1 :** évolution de l'indice de peroxyde de la graine de lin aplatie et de Croquelin® au cours de la conservation



## 2.2. PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

Les vitesses de croissance moyennes des animaux issus des essais 1 à 5 portant sur les comparaisons Témoin / Lin extrudé / Lin aplati figurent dans le tableau 4. Compte tenu de la variabilité des résultats observée d'un essai à l'autre, globalement sur les 5 essais, les équivalences de croissance entre les lots Témoin et Lin extrudé d'une part, et Témoin et Lin aplati d'autre part, n'ont pas été démontrées ( $p > 0,05$ ). Dans le cadre d'une analyse exploratoire par essai, on a toutefois observé que l'apport de lin semblait améliorer les performances de croissance dans les essais 2, 3 et 5 (+10 à +25 % selon les essais et la forme de présentation du lin), alors que cela ne semblait pas être le cas dans les essais 1 et 4. La baisse de performance enregistrée entre les lots Témoin et Lin extrudé de l'essai 1 a sans doute été liée à une forte oxydation du produit extrudé en fin d'essai. S'agissant des poids de carcasse froide, comme pour la vitesse de croissance, l'équivalence entre lots n'a pas été démontrée ( $p > 0,05$ ).

**Tableau 4 :** croissance sur la période expérimentale (g/j)

Essai	Lot Témoin	Lot Lin extrudé	Lot Lin aplati
1	1457 ± 255	1244 ± 288	1405 ± 324
2	726 ± 352	861 ± 319	910 ± 213
3	1300 ± 104	1437 ± 231	1421 ± 217
4	757 ± 170	808 ± 205	661 ± 153
5	1378 ± 272	1523 ± 399	1664 ± 376

Moyenne ± écart-type.

Les caractéristiques d'état d'engraissement (classement EUROP ou pesées de gras d'abattage) des lots Lin extrudé et Lin aplati ont été équivalentes à celles des lots Témoin ( $p < 0,05$ ). De même, l'apport de lin n'a pas eu d'incidence sur les notes de persillé et de marbré de la viande. Par ailleurs, quel que soit l'essai, l'apport de lin aux animaux ne s'est jamais traduit par un défaut majeur de tenue, de couleur ou d'odeur du gras de couverture.

L'apport de lin n'a pas conduit à une viande plus rouge à la coupe primaire. L'indice de rouge mesuré au chromamètre a été équivalent dans les lots Témoin et Lin aplati ( $p < 0,01$ ). L'équivalence n'a pas pu être démontrée dans les lots Témoin et Lin extrudé ( $p = 0,07$ ), l'indice de rouge étant un peu plus élevé dans les lots Lin extrudé. Par ailleurs, aucune différence n'a été démontrée entre les deux formes de présentation du lin ( $p > 0,05$ ).

## 2.3. COMPOSITION EN ACIDES GRAS

Sur l'ensemble des essais, la teneur en lipides du Long dorsal cru a varié en moyenne de lot de 2 à 5 % ce qui a permis de couvrir la plage de variation habituelle de la teneur en lipides de ce muscle. Dans le cadre d'une analyse exploratoire intra essai, aucune différence de teneur en lipides ne semble avoir été observée entre lots.

### 2.3.1. Incidence de la forme de présentation du lin

S'agissant de la teneur en acide  $\alpha$ -linoléinique (C18:3  $n-3$ ), et plus globalement en AGPI  $n-3$ , elles ont été significativement plus élevées dans les lots ayant reçu 750 g/j de lin extrudé ou aplati que dans les lots Témoin ( $p < 0,001$ ). La teneur en C18:3  $n-3$  des lots Lin extrudé a globalement été multipliée par 3 par rapport aux lots Témoin pour se situer au même niveau que celle des animaux finis à l'herbe (tableau 5). Celle des lots Lin aplati a en revanche été plus faible d'environ 30 % par rapport à celle des lots Lin extrudé ( $p < 0,01$ ). Avec 30 % de graines de lin aplaties en plus dans la ration, soit 1 kg contre 750 g de lin extrudé, l'enrichissement des viandes a, de façon non attendue, été

plus faible (tableau 6). L'aplatissage ayant été relativement sévère, il est possible qu'avec le lin aplati, l'huile ait été moins protégée dans le rumen qu'avec la forme extrudée et qu'elle ait donc été plus hydrogénée. Il faut toutefois remarquer que les teneurs en C18:3  $n-3$  mesurées dans ces essais, tant pour les régimes témoin que pour les régimes herbe sont plutôt plus faibles que celles rapportées dans la bibliographie (Bauchart *et al.*, 2005 ; Nuernberg *et al.*, 2005).

**Tableau 5 :** teneur en C18:3  $n-3$  du Long dorsal cru (% AG totaux), comparaison 750 g de lin extrudé / 750 g de lin aplati

Essai	Lot Témoin	Lot Lin extrudé	Lot Lin aplati	Herbe
1	0,54 ± 0,07	1,58 ± 0,29	1,17 ± 0,36	
2	0,49 ± 0,13	0,86 ± 0,13	0,63 ± 0,11	0,92 ± 0,10
3	0,48 ± 0,09	1,87 ± 0,60	1,13 ± 0,13	
4	0,50 ± 0,08	1,28 ± 0,26	0,91 ± 0,16	
5	0,41 ± 0,10	0,94 ± 0,31	0,57 ± 0,18	

**Tableau 6 :** teneur en C18:3  $n-3$  du Long dorsal cru (% AG totaux), comparaison 750 g de lin extrudé / 1 kg de lin aplati

Essai	Lot 750 g/j de lin extrudé	Lot 1 kg/j de lin aplati
6	0,38 ± 0,09	0,21 ± 0,09
7	0,90 ± 0,30	0,70 ± 0,42

En terme de quantité d'acide  $\alpha$ -linoléinique présente dans le muscle, elle a été significativement plus élevée dans les lots ayant reçu 750 g/j de lin extrudé ou aplati que dans les lots Témoin ( $p < 0,001$ ). Globalement, avec une teneur moyenne de 33 mg de C18:3  $n-3$ /100 g de muscle frais, les lots Lin extrudé ont présenté environ 20 mg/100 g de C18:3  $n-3$  de plus que les lots Témoin (tableau 7). Avec le lin aplati, la quantité de C18:3  $n-3$  a été plus faible d'environ 10 mg/100 g de muscle frais qu'avec le lin extrudé ( $p < 0,001$ ).

**Tableau 7 :** teneur en C18:3  $n-3$  du Long dorsal (mg/100g muscle frais), comparaison 750 g de lin extrudé / 750 g de lin aplati

Essai	Lot Témoin	Lot Lin extrudé	Lot Lin aplati	Herbe
1	14,2 ± 5,6	44,8 ± 14,2	23,9 ± 11,3	
2	22,1 ± 11,3	33,7 ± 7,2	27,4 ± 6,0	31,5 ± 6,9
3	9,6 ± 3,4	29,3 ± 5,8	23,0 ± 5,9	
4	16,6 ± 5,4	40,9 ± 11,6	33,2 ± 7,6	
5	6,9 ± 2,4	15,7 ± 8,4	8,0 ± 2,9	

Quelle que soit sa forme de présentation, l'incorporation de lin dans la ration des animaux a permis dans le même temps de diminuer significativement ( $p < 0,001$ ) le rapport C18:2  $n-6$  / C18:3  $n-3$  pour le rendre plus conforme aux recommandations des nutritionnistes (tableau 8).

**Tableau 8 :** rapport C18:2  $n-6$  / C18:3  $n-3$  du Long dorsal cru, comparaison 750 g de lin extrudé / 750 g de lin aplati

Essai	Lot Témoin	Lot Lin extrudé	Lot Lin aplati	Herbe
1	15,41 ± 2,77	4,87 ± 0,99	8,07 ± 2,47	
2	3,41 ± 0,70	2,50 ± 0,50	2,75 ± 0,23	1,83 ± 0,14
3	12,48 ± 2,42	4,29 ± 0,47	5,73 ± 0,50	
4	7,02 ± 1,10	3,12 ± 0,23	3,92 ± 0,31	
5	18,68 ± 4,42	7,63 ± 2,18	11,12 ± 1,81	

### 2.3.2. Incidence de la quantité de lin apportée

Sans que l'enrichissement en AGPI  $n-3$  soit complètement proportionnel à la quantité de lin extrudé incorporé dans la ration de l'animal, on a toutefois observé une augmentation de l'enrichissement de la viande avec la quantité de graine de lin extrudée distribuée à l'animal (tableau 9). En doublant la quantité de lin extrudé apportée sur les 100 derniers jours de finition, la teneur en C18:3  $n-3$  a été augmentée d'environ

50 %. Avec les vaches Charolaises (essai 6), elle est passée de 0,25 à 0,38 % des acides gras totaux pour un apport de 375 ou 750 g/j de lin extrudé ( $p < 0,05$ ). Avec les génisses Blondes d'Aquitaine (essai 8), elle est passée de 1,13 à 1,66 % pour un apport de 750 g/j ou 1,5 kg/j ( $p < 0,01$ ). Sur une période plus courte (50 derniers jours de finition, essai 9), l'augmentation de la teneur en C18:3 *n-3* a été plus faible (+20 % environ) entre un apport de 750 g/j et 1,5 kg/j.

**Tableau 9** : variation de la teneur en C18:3 *n-3* du Long dorsal cru en fonction de la dose de lin extrudé de la ration alimentaire (% AG totaux)

Essai	Lot Témoin	375 g/j de lin extrudé	750 g/j de lin extrudé	1,5 kg/j de lin extrudé
6		0,25 ± 0,05	0,38 ± 0,09	
8	0,36 ± 0,04		1,13 ± 0,30	1,66 ± 0,31
9			1,05 ± 1,12	1,28 ± 0,36

### 2.3.3. Incidence de la répartition des apports de lin

En terme de stratégie d'apport, il semblerait qu'un apport de 750 g/j effectué au cours des 100 derniers jours avant l'abattage n'ait pas été plus efficace qu'un apport de 750 g/j pendant les 50 derniers jours seulement (tableau 10). La teneur en C18:3 *n-3* a en effet été de 1,05 % avec un apport de lin extrudé pendant les 50 derniers jours contre 0,91 % avec un apport pendant 100 jours ( $p > 0,05$ ). Ce résultat reste toutefois à confirmer compte tenu de la forte variabilité intra lot observée.

**Tableau 10** : variation de la teneur en C18:3 *n-3* du Long dorsal cru en fonction de la durée d'apport de lin extrudé dans la ration alimentaire (% AG totaux)

Essai	750 g/j de lin extrudé / 100 j	750 g/j de lin extrudé / 50 j	1,5 kg/j de lin extrudé / 50 j
9	0,91 ± 0,23	1,05 ± 1,12	1,28 ± 0,36

### 2.3.4. Incidence du sexe

La teneur en C18:3 *n-3* des lots Lin exprimée en pourcentage des acides gras totaux a semblé plus élevée chez les mâles (essais 1, 3 et 5) que chez les femelles (essais 2 et 4), respectivement, 1,46 vs. 1,07 % pour les lots Lin extrudé et 0,96 vs. 0,77 % pour les lots Lin aplati (tableau 5). Le Long dorsal des mâles ayant une teneur en lipides plus faible que celui des femelles (2 à 3 % vs. 3,5 à 5 % de lipides) ce résultat était attendu. En effet, les AGPI sont principalement stockés dans les phospholipides des membranes cellulaires. Ainsi, plus la teneur en lipides des viandes est faible, plus leur importance relative par rapport aux lipides neutres (graisse) augmente. En s'intéressant aux concentrations en C18:3 *n-3* exprimées en pourcentage du muscle, les quantités de C18:3 *n-3* présentes dans les viandes des lots Lin ont semblé très voisines pour les mâles et les femelles, sauf pour l'essai 5 dans lequel les teneurs en C18:3 *n-3* ont été particulièrement faibles (tableau 7).

### 2.3.5. Incidence du muscle

La variation de l'enrichissement des viandes en AGPI *n-3* suivant la teneur en lipides des muscles n'a été observée que de façon partielle dans cette étude. Avec un apport de 750 g de lin extrudé pendant 100 jours, le diaphragme, muscle relativement gras (6,5 à 7,5 % de lipides pour les mâles, 10 à 12 % de lipides pour les femelles) a présenté des pourcentages d'AGPI *n-3* plus faibles d'environ 35 % que le Long dorsal dans les essais 5 et 8 seulement (tableau 11). Dans les essais 6 et 9, bien que les différences de teneur en

lipides des deux muscles aient été du même ordre voire supérieures, aucune différence de teneur en AGPI *n-3* n'a été mesurée.

**Tableau 11** : teneur en AGPI *n-3* de différents muscles d'animaux ayant reçu 750 g de lin extrudé pendant 100 j (% AG totaux)

Essai	Long dorsal	Diaphragme	Droit de l'abdomen	Semi-tendineux
5	1,46 ± 0,56	0,94 ± 0,25	1,14 ± 0,31	
6	0,61 ± 0,13	0,78 ± 0,14		0,61 ± 0,12
8	2,07 ± 0,51	1,36 ± 0,22		3,48 ± 0,93
9	1,43 ± 0,37	1,40 ± 0,22	1,36 ± 0,42	

Inversement, dans l'essai 8, la teneur en AGPI *n-3* des génisses Blondes d'Aquitaine recevant 750 g de lin extrudé a été plus élevée d'environ 70 % dans le semitendineux, muscle particulièrement maigre (autour de 2 % de lipides), que dans le Long dorsal. Ce résultat n'a pas été observé dans l'essai 6 avec des vaches de réforme plus âgées et un peu plus grasses. Le droit de l'abdomen des jeunes bovins recevant 750 g de lin extrudé a présenté une teneur en lipides un peu supérieure ou voisine de celle du Long dorsal (respectivement 2,7 vs. 2,2 % de lipides dans l'essai 5 et 2,6 vs. 2,8 % dans l'essai 9). De façon assez logique, sa teneur en AGPI *n-3* a été un peu inférieure à celle du Long dorsal dans l'essai 5 (1,14 vs. 1,46 %), et voisine de celle-ci dans l'essai 9 (1,36 vs. 1,43 %).

### 2.3.5. Incidence de la cuisson

Les analyses sur le Long dorsal cuit n'ont pas semblé montrer de modifications majeures dans la composition en acides gras par rapport aux analyses sur le muscle cru (tableau 12). Une cuisson modérée de la viande n'altérerait donc pas les AGPI qui se retrouveront donc effectivement dans l'assiette du consommateur.

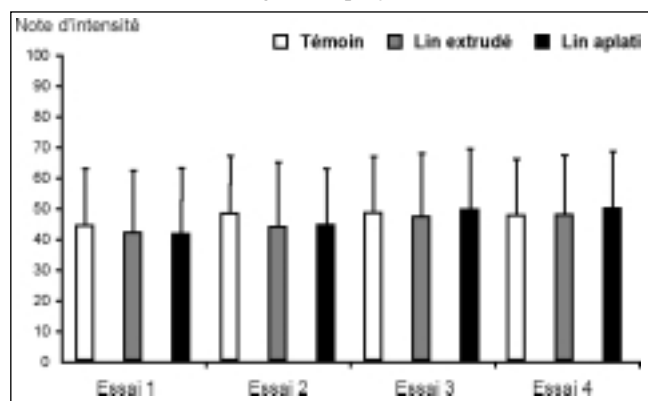
**Tableau 12** : effet de la cuisson sur la teneur en AGPI *n-3* du Long dorsal (% AG totaux)

Essai	Long dorsal cru	Long dorsal cuit
2	1,51 ± 0,32	1,43 ± 0,27
4	2,12 ± 0,54	2,51 ± 0,64

## 2.4. QUALITES SENSORIELLES PERÇUES EN BOUCHE

En terme de flaveur des viandes, les dégustations réalisées sur le muscle Long dorsal ont permis de conclure à une équivalence des lots Témoin et Lin extrudé d'une part ( $p < 0,001$ ), et Témoin et Lin aplati d'autre part ( $p < 0,001$  ; Figure 2). Aucune différence n'a été démontrée entre les deux formes de présentation du lin. L'enrichissement des viandes en AGPI *n-3* plus sensibles aux phénomènes d'oxydation ne s'est donc pas traduit par l'apparition de saveurs rances plus soutenues dans les lots Lin et ceci bien que les dégustations aient été effectuées avec des viandes en fin de durée de conservation. De même, l'apparition d'un goût de poisson comme Bauchart *et al.* (2003) et Scollan *et al.* (2005) l'avaient observée sur des bouillons recevant respectivement une infusion d'huile de lin par voie duodénale et de la graine de lin traitée au formaldéhyde n'a pas été enregistrée dans ces essais, quels que soient le niveau d'apport et la forme de présentation du lin. Dans ces expérimentations, la quantité d'acide  $\alpha$ -linoléique absorbée était toutefois beaucoup plus importante que dans nos essais.

**Figure 2 :** flaveur du Long dorsal perçue en bouche



En terme de tendreté, quelques écarts entre lots ont été observés mais sans être répétables d'un essai à l'autre. Ces écarts semblaient davantage être liés aux teneurs en lipides des viandes qu'aux traitements, les viandes les plus grasses étant généralement les plus tendres. Statistiquement, l'équivalence entre lots Témoin et Lin n'a pu être démontrée.

## 2.5. DIGESTION DES RATIONS

Quelle que soit sa forme de présentation, l'apport de lin n'a pas entraîné de modification de la digestibilité totale (tableau 13), de la digestibilité ruminale, de la composition en acides gras volatils et de la concentration en protozoaires du rumen. Ceci confirme un essai récent sur vaches recevant de l'huile de lin (Ueda *et al.*, 2003) alors que plusieurs essais anciens sur moutons faisaient état de fortes perturbations de la digestion ruminale. Un effet négatif de la graine de lin sur la valeur énergétique du reste de la ration semble donc peu probable.

**Tableau 13 :** digestibilité de la matière organique (dMO) et flux duodénaux d'AGPI d'animaux ayant reçu du lin sous différentes formes

Régimes	Témoin	Lin extrudé	Lin aplati	Huile + ttx lin	ES
dMO (%)	71,8	71,8	72,0	72,4	0,73
Flux duodénaux (g/j)					
C18:3 n-3	1,7 <sup>a</sup>	6,6 <sup>b</sup>	2,6 <sup>a</sup>	3,6 <sup>ab</sup>	0,89
C18:2 n-6	9,1 <sup>ab</sup>	11,0 <sup>b</sup>	6,7 <sup>a</sup>	11,0 <sup>b</sup>	0,86

<sup>a,b</sup> : des lettres différentes sur une même ligne indiquent des résultats significativement différents ( $p < 0,05$ ).

ES : erreur standard.

Par ailleurs, l'apport de lipides du lin a augmenté la teneur en acide  $\alpha$ -linoléique dans le flux duodéal d'acides gras, ce qui avait été observé par Loor *et al.* (2004) avec de l'huile de lin. Contrairement à des résultats récents (Gonthier *et al.*, 2004), le flux duodéal d'acide  $\alpha$ -linoléique a été accru lorsque la graine était extrudée, suggérant une hydrogénation ruminale plus faible. Des données similaires viennent d'être observées *in vitro* et *in vivo* (Akraim *et al.*, 2006). Ces résultats expliquent la teneur plus forte des muscles en acide  $\alpha$ -linoléique observée avec la graine de lin extrudée dans les essais de production.

## CONCLUSION

Le dispositif mis en place dans cette étude n'a pas permis de conclure quant à l'absence d'incidence de l'incorporation de lin dans le régime de finition des bovins sur leurs performances de croissance. Par ailleurs, quelles que soient la forme de présentation ou la quantité apportée en finition, l'incorporation de graine de lin dans le régime de finition n'a pas accru l'état d'engraissement des carcasses. De même, elle n'a pas eu d'effet sur la couleur de la viande, notamment en terme de viande plus rouge.

En revanche, l'effet du lin a été très marqué sur la composition en acides gras des viandes. La proportion d'AGPI n-3 a été fortement augmentée (en moyenne plus que doublée) et le rapport C18:2 n-6 / C18:3 n-3 diminué (en moyenne divisé par 2) pour être davantage conforme aux recommandations des nutritionnistes. Cet enrichissement a semblé en proportion plus important pour les viandes maigres (jeunes bovins ou muscles maigres) mais exprimé en mg, la quantité d'oméga 3 semblait assez proche entre viande maigre ou grasse. Dans cette étude, avec un aplatissage de la graine de lin relativement sévère, l'enrichissement a été accru avec la graine de lin extrudée par rapport à la graine de lin aplatie (en moyenne +50 %), ce qui correspond à un flux de C18:3 n-3 plus élevé à la sortie du rumen. Il a varié positivement avec la quantité de lin incorporé dans la ration des animaux. La durée d'apport du lin a en revanche semblé plus secondaire, l'apport de lin sur les 100 derniers jours de finition n'ayant pas conduit à un enrichissement en C18:3 n-3 plus important qu'avec un apport pendant 50 jours. Avec 750 g/j de lin extrudé apportés pendant 100 jours, la quantité de C18:3 n-3 a été de l'ordre de celle obtenue avec des vaches Charolaises finies à l'herbe au printemps. Pour un steak de 150 g, on peut estimer que l'apport en C18:3 n-3 sera voisin de 50 à 60 mg soit environ 3 % des apports nutritionnels recommandés contre 0,7 % des ANC pour un steak "classique".

Cet enrichissement en AGPI des lipides de la viande n'a pas eu d'incidence sur la flaveur des viandes : il n'a pas conduit pas à des viandes plus rances même après un temps de conservation relativement long. S'agissant de la tendreté, bien que les écarts soient relativement faibles, le dispositif n'a pas permis de conclure.

*Les auteurs remercient le personnel des différents sites expérimentaux pour la mise en place et le suivi des expérimentations, le travail des viandes et la réalisation des analyses. Cette étude a bénéficié des soutiens financiers des ministères chargés de l'Agriculture et de la Recherche (programme ACTA 02/14-2), d'INTERBEV, de l'OFIVAL, de l'ONIDOL, de la société VALOREX, de la région Pays de la Loire et de l'interprofession régionale BOVI LOIRE.*

- Akraim F., Nicot M.C., Weill P., Enjalbert F., 2006.** *Anim. Res.* (accepté).
- Bastien D., 2001.** CR Institut de l'Elevage n°2013216.
- Bauchart D., Durand D., Mouty D., Dozias D., Ortigues-Marty I., Micol D., 2001.** *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 108.
- Bauchart D., Durand D., Gruffat D., 2003.** Rapport final du contrat européen "HealthyBeef" (5<sup>e</sup> PCRD).
- Bauchart D., Gladine C., Gruffat D., Leloutre L., Durand D., 2005.** In Hocquette, J.F., Gigli, S. (Editors), *Indicators of milk and beef quality*, Wageningen Pers, Wageningen, 431-436.
- Brunschwig P., Kernén P., Weill P., 1997.** *Renc. Rech. Ruminants*, 4, 361.
- Chilliard Y., Ferlay A., Mansbridge R.M., Doreau M., 2000.** *Ann. Zootech.*, 49, 181-205.
- Folch J., Lees M., Sloane-Stancey G.H., 1957.** *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
- French P., Stanton C., Lawless F., O'Riordan E.G., Monahan F.J., Caffrey P.J., Moloney A.P., 2000.** *J. Anim. Sci.*, 78, 2849-2855.
- Gonthier C., Mustafa A.F., Berthiaume R., Petit H.V., Ouellet D.R., 2004.** *Can. J. Anim. Sci.*, 84, 705-711.
- Hochberg Y., Tamhane A.C., 1987.** *Multiple comparison procedures*. Ed. John Wiley & Sons, New-York.
- Kouba M., Enser M., Whittington F. M., Nute G.R., Wood J.D., 2003.** *J. Anim. Sci.*, 81, 1967-1979.
- Lessire M., 2001.** *INRA Prod. Anim.*, 14, 365-370.
- Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999.** *INRA Prod. Anim.*, 12, 11-28.
- Loor J.J., Ueda K., Ferlay A., Chilliard Y., Doreau M., 2004.** *J. Dairy Sci.*, 87, 2472-2485.
- Martin A., 2001.** Apports nutritionnels conseillés pour la population française (3<sup>e</sup> édition). Ed. Tec & Doc, Paris.
- Mourot J., Hermier D., 2001.** *Reprod. Nutr. Dev.*, 41, 109-118.
- Nuernberg K., Dannenberger D., Nuernberg G., Ender K., Voigt J., Scollan N.D., Wood J.D., Nute G.R., Richardson R.L., 2005.** *Livest. Prod. Sci.*, 94, 137-147.
- Scollan N.D., Richardson I., De Smet S., Moloney A.P., Doreau M., Bauchart D., Nuernberg K., 2005.** In Hocquette, J.F., Gigli, S. (Editors), *Indicators of milk and beef quality*, Wageningen Pers, Wageningen, 151-162.
- Ueda K., Ferlay A., Chabrot J., Loor J.J., Chilliard Y., Doreau M., 2003.** *J. Dairy Sci.*, 86, 3999-4007.
- Wilfart A., Ferreira J.M., Mounier A., Robin G., Mourot J., 2004.** Journées Recherche Porcine, 36, 195-202.