

L'ajout d'antioxydants végétaux dans l'alimentation des porcs permet-il de limiter la peroxydation des viandes enrichies en acides gras poly-insaturés n-3 ?

Guillaume MAIRESSE (1), Marion BENET (1), Karine METEAU (2), Hervé JUIN (2), Denys DURAND (3), Jacques MOUROT (1)

(1) INRA, UMR1079 SENAH, F-35590 Saint-Gilles

(2) INRA, UE1206 EASM, F-17700 Surgères

(3) INRA, UR1213 URH, F-63122 Saint Genès Champanelle

g.mairesse@valorex.com

Avec la collaboration technique Gwennola Robin (1), Martine Fillaut (1), Hervé Demay (1), Bernard Carrissant (1), Patrice Roger (1), Frédéric Guerin (1), Maurice Alix (1), Jérôme Liger(1) et Marinette Brunel (3)

L'ajout d'antioxydants végétaux dans l'alimentation des porcs permet-il de limiter la peroxydation des viandes enrichies en acides gras poly-insaturés n-3 ?

Quatre groupes des 8 porcs (poids initial: 52,6 ± 6,6 kg, poids final: 109,0 ± 5,6 kg) ont été nourris avec un régime pauvre en acides gras poly-insaturés n-3 (AGPI) (Régime P), ou riche en AGPI n-3 (apport par de la graine de lin extrudée) (Régime L). Deux antioxydants d'origine végétale (AOV) ont été testés (AOV1 et AOV2) et ont été ajoutés aux régimes L (Régime L+AOV1 et Régime L+AOV2). Des côtes de porcs crues et cuites, du jambon cuit et du jambon sec issus de ces porcs ont été analysés : profils en acides gras, mesure des potentiels de lipopéroxydation (MDA) et analyse sensorielle pour le jambon sec. Les résultats montrent que l'ajout de graines de lin extrudées dans l'alimentation des porcs induit une augmentation d'un facteur 8, 10, 6 et 5 de la quantité d'ALA (C18:3n-3) respectivement dans les côtes crues, cuites, le jambon cuit et sec. En outre, l'ajout d'AOV dans les rations ne modifie pas le profil en acides gras des produits testés. Le niveau de peroxydation des produits enrichis en AGPI n-3 est supérieur à celui des produits P, mais l'ajout d'AOV permet de diminuer les teneurs en MDA dans les côtes crues, le jambon cuit et le jambon sec. De plus, l'analyse sensorielle des jambons secs montre que ni l'enrichissement en AGPI n-3 ni l'ajout d'AOV n'ont d'effets majeurs sur les qualités organoleptiques (comparaisons effectuées par rapport à un jambon sec commercial). La cuisson ne modifie pas le profil en acides gras des côtes mais augmente leurs niveaux de peroxydation.

Does the supplementation of pig diet with plant antioxidants protect n-3 fatty acids enriched pork products against peroxidation ?

Four groups of 8 pigs (initial weight: 52,6 ± 6,6kg, final weight : 109,0 ± 5,6kg) were fed either with a low (P diet) or a high (L diet) level of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA). Two cocktails of antioxidants from plant extracts rich in polyphenol (AOV) were tested (AOV1 and AOV2) and were added separately to L diet (L+AOV1 diet and L+AOV2 diet). Raw and cooked pork chops, cooked ham and dried-ham from these pigs were analyzed for fatty acids profiles, lipoperoxidation potential (MDA), and sensorial analysis for dried-ham only. Our results showed that adding extruded linseed in pig diets induced an increase by a factor of 8, 10, 6 and 5 in the ALA (C18 :3n-3) content, respectively in raw chops, cooked chops, cooked ham and dried-ham. The addition of AOV in pig diet did not alter the fatty acids profiles of the products. The peroxidation level was higher in AGPI n-3 enriched products than in the P products. However, adding AOV decreased the MDA contents in raw chops, cooked ham and dried-ham. In addition, sensorial analysis performed on dried-ham showed that neither n-3 PUFA enrichment nor addition of AOV had significant effects on the sensory attributes (compared with a standard dried-ham available on the French market). Cooking did not modify the fatty acid profiles of cooked chops but increased their lipoperoxidation level.

INTRODUCTION

Les effets bénéfiques pour la santé des acides gras poly-insaturés (AGPI) de la famille n-3 sont largement établis (Lecerf, 2008). Par ailleurs, le rapport entre l'acide alpha linoléique (ALA) et l'acide linoléique (LA) est actuellement autour de 30 alors que les recommandations émises par l'AFSSA ciblent un rapport optimal en dessous de 5 (AFSSA, 2001). Par conséquent, la consommation d'AGPI n-3 doit être augmentée dans l'alimentation humaine et toutes les sources d'apports en AGPI n-3 doivent être considérées. De nombreuses études ont montré qu'il existe une relation claire entre l'apport d'AGPI n-3 dans les régimes animaux et leur accumulation dans la viande (Enser *et al.*, 2000 ; Kouba, 2006) ou dans les produits transformés tels que la charcuterie par exemple (Guillevic *et al.*, 2009). Néanmoins, ces AGPI n-3 présentent un potentiel important de lipopéroxydation (Spiteller, 2001) pouvant engendrer une dégradation de la qualité nutritionnelle mais également organoleptique des produits.

Afin de limiter ce phénomène d'oxydation, l'ajout d'antioxydants dans l'alimentation des animaux est envisagé. La vitamine E est largement utilisée en nutrition animale comme antioxydant, mais son efficacité diminue avec la quantité d'AGPI n-3 ingérée (Allard *et al.*, 1997). De plus, à fortes doses, la vitamine E a un rôle pro-oxydant (Mukai *et al.*, 1993). L'utilisation d'antioxydants d'origine végétale (AOV) en compléments de la vitamine E a montré son efficacité sur la réduction du potentiel de péroxydation des lipides plasmatiques chez le bovin (Gladine *et al.*, 2007a), mais également dans la viande (Gobert *et al.*, 2008).

L'objectif de ce travail focalisé sur la viande de porc est double : étudier (i) l'effet d'un régime riche en AGPI n-3 et (ii) l'effet de l'ajout d'AOV en complément de la vitamine E dans la ration des porcs, sur le profil en acides gras et le potentiel de lipopéroxydation de différents produits et charcuterie. Quatre produits ont été analysés : des côtes de porcs crues, des côtes cuites ainsi que du jambon cuit et du jambon sec. Par ailleurs, une analyse sensorielle du jambon sec a été réalisée afin de détecter d'éventuels défauts organoleptiques.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Alimentation

Quatre groupes des 8 porcs mâles castrés [(Large-White X Landrace) X (Piétrain)] (poids initial : $52,6 \pm 6,6$ kg) ont été nourris *ad libitum* avec l'un des 4 régimes. Tous les régimes ont été formulés sur la base d'un aliment standard d'engraissement (2% de lipides, 17% de protéines) auquel a été rajouté 2,5% d'huile de palme (Régime P, 1 groupe) ou 6,3% de graines de lin extrudées Tradi-Lin®, Valorex) pour 3 groupes : la graine de lin était ajoutée seule (régime L), ou complétée avec 2 sources d'antioxydants d'origine végétale différents, AOV1 et AOV2 (régime L+AOV1 et régime L+AOV2). Tous ces régimes sont iso-lipidiques (4,6%) et iso-énergétiques (16,6MJ/kg). Les porcs ont été abattus dans l'abattoir INRA de l'UMR SENAH par électroanesthésie, puis saignée (poids final : $109,0 \pm 5,6$ kg).

1.2. Transformation des produits

Après refroidissement en chambre froide à air pulsé (24h à

2°C), les carcasses ont été découpées. Les pièces primaires ont été expédiées pour transformation. Le jambon cuit a été élaboré par l'ADIV et le jambon sec par la société AOSTE, selon leurs processus de fabrication standard.

A la découpe, des côtes ont également été prélevées, mises sous vide et congelées pendant 9 mois avant analyse. Après décongélation, la cuisson des côtes a été réalisée à l'aide d'un grill ménager (TEFAL, 1800W).

1.3. Analyses biochimiques

Les lipides totaux ont été extraits selon la méthode de Folch (Folch *et al.*, 1957). Le profil en acides gras des produits a été déterminé par Chromatographie en Phase Gazeuse, après saponification et méthylation des lipides totaux, selon la méthode de Morrison et Smith (1964).

La mesure du potentiel de péroxydation a été réalisée pour le jambon cuit et les côtes de porc selon la méthode des TBARS (2-thiobarbituric acid-reactive substances) décrite par Oriani *et al.* (2001) (méthode spectro-photométrique). Les mesures ont été réalisées après une oxydation forcée de 0min, 60min, 120min, 200min et 300min. Pour le jambon sec, le dosage du malondialdéhyde (MDA) a été réalisé par HPLC comme décrit par Gladine *et al.* (2007b).

Un lot supplémentaire constitué de 5 jambons secs a également été analysé. Ce lot est formé de jambons secs standards de la marque Aoste issus du commerce et ayant été transformés par AOSTE dans les mêmes conditions et simultanément aux jambons des lots expérimentaux.

1.4. Analyses sensorielles des jambons secs

Seuls les jambons secs issus des régimes L, L+AOV1, L+AOV2 ainsi que ceux issus du commerce ont été testés. Les analyses sensorielles ont été réalisées avec 12 jurés au laboratoire d'analyse sensorielle de l'INRA (Le Magneraud) dans des locaux conformes à la norme AFNOR NF V09 105 « Analyse sensorielles – Directives générales pour l'implantation de locaux destinés à l'analyse sensorielle ».

Tous les échantillons étaient présentés simultanément à chaque juré. L'ordre de dégustation était aléatoire.

Pour chaque critère, la notation s'est effectuée sur une échelle continue bornée de 0 à 10. Au total, 2 séances d'entraînement et 8 séances d'analyses sensorielles ont été réalisées.

1.5. Traitements statistiques

Les profils en acides gras et les paramètres de lipopéroxydation ont été soumis à un traitement statistique d'analyse de variance via le logiciel SAS. Les moyennes ont été comparées 2 à 2 selon le test de Bonferroni. Le seuil de significativité a été fixé à 5%.

Les résultats de l'analyse sensorielle ont été traités avec le logiciel Minitab. Les valeurs obtenues sont le résultat d'une analyse de variance (ANOVA -test de Tukey, 5%). Le seuil de significativité a été fixé à 5%. Aucun effet séance et aucune interaction entre effet séance et effet traitement n'ont été détectés sur les profils d'analyses sensoriels.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

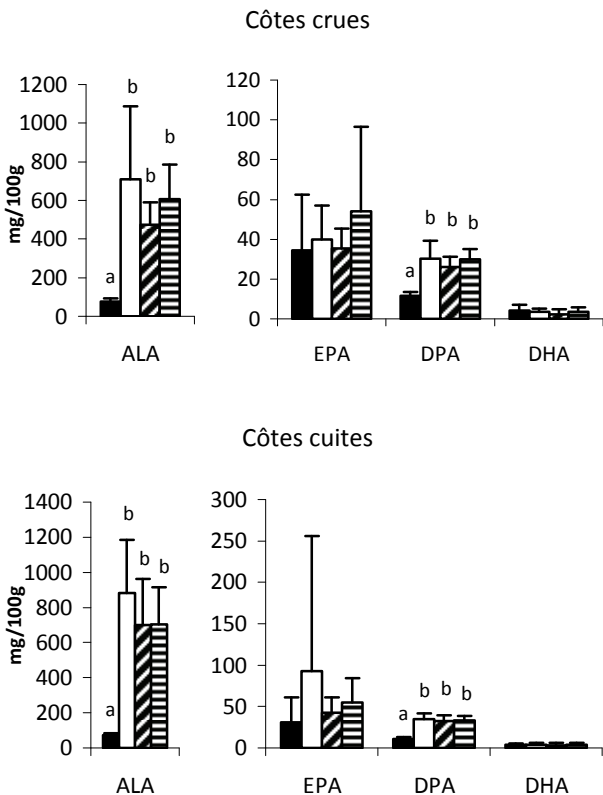
Les performances zootechniques des animaux n'ont été affectées par aucun des traitements (source de lipides et AOV, $P > 0,05$; données non montrées).

2.1. Profils en acides gras des produits

Aucun des régimes expérimentaux n'a d'effet sur les teneurs en lipides des produits (Tableau 1). Des résultats identiques ont été précédemment rapportés par Guillevic et al. (2009). Globalement, l'enrichissement en AGPI n-3 des régimes des porcs induit une augmentation de ces acides gras dans les différents produits testés au détriment des acides gras mono-insaturés (AGM) (Tableau 1). Les pourcentages des acides gras saturés (AGS) et des AGPI n-6 ne sont significativement pas modifiés par l'apport de graines de lin extrudées dans la ration. Le rapport LA/ALA des produits issus des porcs nourris avec les régimes enrichis en AGPI n-3 est ainsi très largement inférieur à la valeur recommandée (rapport < 5) dans les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC, 2001).

Comparativement au régime P, l'ajout de graines de lin extrudées dans l'alimentation des porcs induit une augmentation par 8, 10, 6 et 5 de la quantité en ALA respectivement dans les côtes crues, cuites, le jambon cuit et sec (Figure 1 et Figure 2). Concernant les AGPI n-3 à longues chaînes (EPA : acide eicosapentaénoïque, DPA : acide docosapentaénoïque, DHA : acide docosahexaénoïque), il apparaît que l'enrichissement des régimes en AGPI permet une augmentation du DPA mais pas de l'EPA (sauf pour le jambon cuit) ni du DHA.

Figure 1 : Teneur des principaux AGPI n-3 des côtes crues et cuites (en mg/100g). Régimes P (■), L (□), L+AOV1 (▨), L+AOV2 (▩).



La proportion relative des différents acides gras n'est pas affectée par la cuisson (P>0.05).

Néanmoins, la cuisson a pour effet d'augmenter significativement les teneurs en lipides des côtes cuites (+25%) certainement par un effet de perte en eau.

Par conséquent, les quantités d'ALA augmentent significativement dans les côtes cuites (589 vs. 466 mg/100g dans les côtes crues), de même que les quantités totales d'AGPI n-3 et n-6.

Néanmoins, les rapports AGPI n-3/AGPI n-6 et LA/ALA ne sont pas modifiés par la cuisson.

Conformément à des études précédentes (Haak et al., 2006 ; Lee et al., 2006), aucun des 2 AOV testés n'a d'effet sur le profil en acides gras des produits, excepté l'AOV1 qui tend à réduire les proportions en AGPI n-3 (en % des acides gras totaux) dans les côtes crues, mais pas les teneurs en AGPI n-3 (mg/100g).

Figure 2 : Teneur des principaux AGPI n-3 des jambons cuits et secs (en mg/100g). Régimes P (■), L (□), L+AOV1 (▨), L+AOV2 (▩) et Lot commercial (▤, uniquement pour le jambon sec).

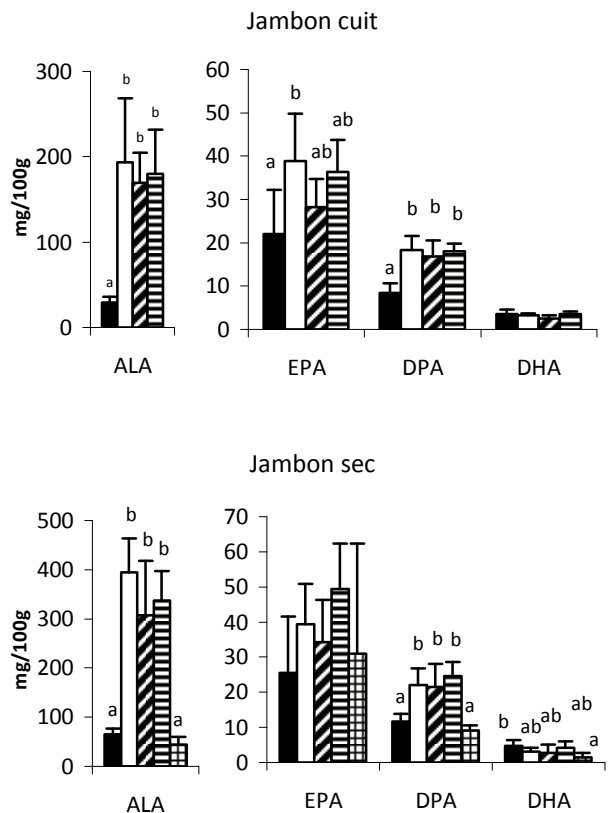


Tableau 1 : Teneurs en lipides totaux (g/100g) et profils en acides gras (% des acides gras totaux) des différents produits.

	P	L	L+AOV1	L+ AOV2	Lot Commerce	ETR	Effet
<i>Côtes crues (n=8/lot)</i>							
Lipides	10,6	10,9	10,0	11,1	-	3,6	ns
ΣAGS	40,4 b	37,0 a	37,2 a	38,3 a	-	2,1	*
ΣAGM	45,4 b	39,6 a	40,6 a	39,3 a	-	1,6	***
ΣAGPI	14,2 a	23,4 b	22,3 b	22,4 b	-	2,1	***
ΣAGPI _{n-6}	11,6	12,3	12,2	12,3	-	0,9	ns
ΣAGPI _{n-3}	2,0 a	10,0 c	8,5 b	8,9 bc	-	0,9	***
LA/ALA	12,53 b	1,52 a	1,50 a	1,79 a	-	0,9	***
<i>Côtes cuites (n=8/lot)</i>							
Lipides	10,9	14,9	13,5	13,2	-	3,6	ns
ΣAGS	40,4	37,7	38,2	39,2	-	1,9	ns
ΣAGM	45,8b	40,2 a	41,0 a	39,7 a	-	1,9	***
ΣAGPI	13,9 a	22,2 b	20,7 b	21,1 b	-	2,2	***
ΣAGPI _{n-6}	11,1	11,7	11,8	11,7	-	1,0	ns
ΣAGPI _{n-3}	2,1 a	9,5 b	8,2 b	8,5 b	-	0,9	***
LA/ALA	12,17 b	1,54 a	1,85 a	1,81 a	-	0,5	***
<i>Jambon cuit (n=6/lot)</i>							
Lipides	4,4	4,5	4,5	5,1	-	0,9	ns
ΣAGS	35,3	34,4	35,0	35,7	-	1,4	ns
ΣAGM	46,9 b	43,1 a	44,1 ab	43,8 a	-	1,9	*
ΣAGPI	17,8 a	22,5 b	20,8 ab	20,6 ab	-	2,4	*
ΣAGPI _{n-6}	14,2	14,0	13,6	13,3	-	1,3	ns
ΣAGPI _{n-3}	2,9 a	7,8 b	6,5 b	6,5 b	-	1,0	***
LA/ALA	15,48 b	2,28 a	2,59 a	2,60 a	-	1,5	***
<i>Jambon sec (n=8/lot)</i>							
Lipides	10,0	8,6	8,3	9,4	7,5	1,8	ns
ΣAGS	36,7	35,0	35,0	35,7	35,7	1,5	ns
ΣAGM	48,9 b	43,9 a	45,1 a	44,1 a	49,9 b	1,4	***
ΣAGPI	14,4 a	21,1 b	19,9 b	20,2 b	14,4 a	1,4	***
ΣAGPI _{n-6}	12,0	12,4	12,5	12,5	11,6	0,9	ns
ΣAGPI _{n-3}	1,9 a	8,1 c	6,7 b	7,1 b	2,3 a	0,6	***
LA/ALA	13,23 b	1,97 a	2,49 a	2,39 a	14,24 b	1,1	***

AGS : acides gras saturés, AGM : acides gras monoinsaturés, AGPI : acides gras polyinsaturés, LA : C18:2n-6, ALA : C18:3n-3.

ns : P>0,05, * : P<0,05, ** : P<0,01, *** : P<0,001.

2.2. Potentiel de lipopéroxydation

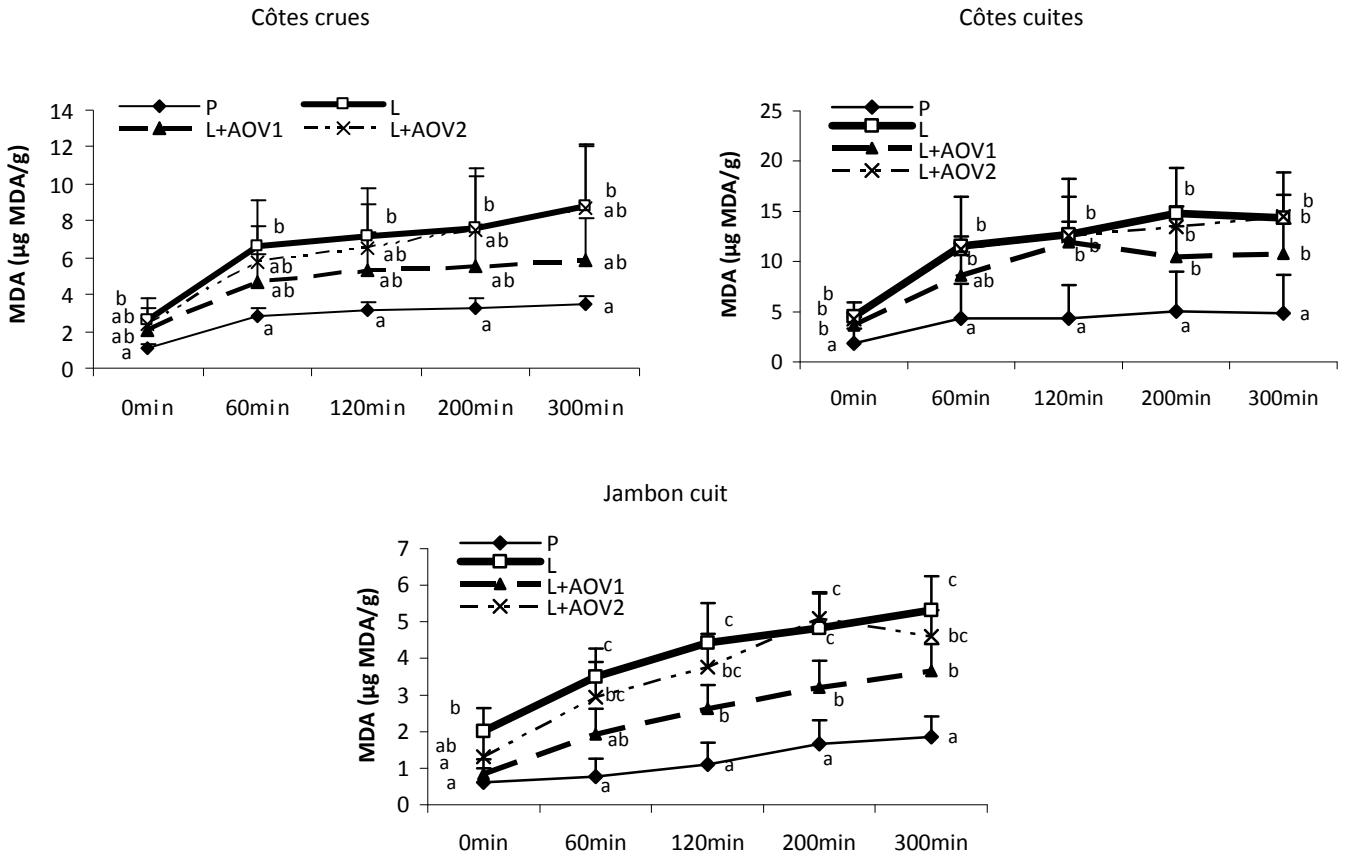
L'ensemble des produits enrichis en AGPI_{n-3} possèdent des potentiels de lipopéroxydation supérieurs à ceux issus du régime P. Cependant, l'ajout d'AOV dans les rations a un effet significatif plus ou moins marqué sur les teneurs en MDA de l'ensemble des produits. Ainsi, les potentiels de peroxydation des côtes crues des lots L+AOV1 et L+AOV2 sont intermédiaires et non significativement différents de ceux des lots P et L, alors que les côtes des lots L sont plus peroxydables que les celles du lot P (Figure 3). L'ajout d'un AOV dans les rations a donc permis de faire baisser le niveau de peroxydation des côtes crues. Cependant, cet effet n'est plus

retrouvé sur les côtes cuites, la cuisson étant un phénomène qui exacerbe l'oxydation des lipides (Rhee *et al.*, 1987). L'ajout d'AOV dans l'alimentation des porcs ne serait donc pas suffisant pour limiter la peroxydation des lipides induite par la cuisson.

Pour le jambon cuit (Figure 3), les 2 AOV testés ont permis de diminuer les niveaux de peroxydation des lipides mais de façon plus efficace avec l'AOV1 (diminution par 2 environ) que l'AOV2 (diminution non significative).

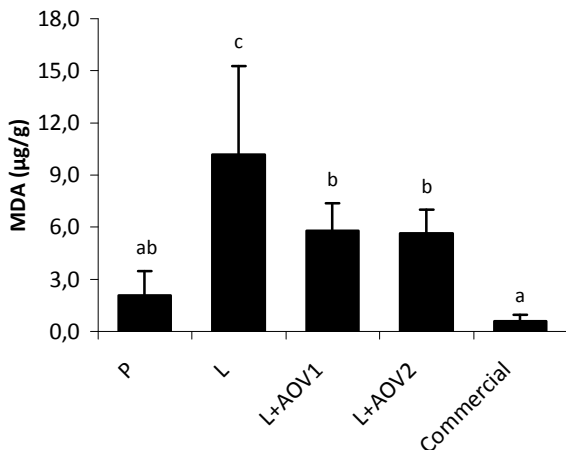
Néanmoins, aucun des 2 AOV n'a permis d'atteindre des niveaux de peroxydabilité similaires à ceux du lot P.

Figure 3 : Potentiel de lipopéroxydation des produits testés (TBARS, en µg MDA/g tissu).



Dans les jambons secs, l'action des AOV est également montrée avec une baisse des teneurs en MDA d'environ 40% par rapport au lot L sans AOV (Figure 4). L'efficacité des 2 AOV est comparable. Cependant, les teneurs en MDA des jambons L+AOV1 et L+AOV2 restent supérieures à celles obtenues dans des jambons du commerce, alors que l'écart de MDA entre ces produits et les jambons issus du régime expérimental P n'est pas significatif. Les modes d'action de ces AOV restent encore à préciser, néanmoins, ils agiraient en synergie avec la vitamine E dont ils recycleraient la forme oxydée (Gladine et al., 2007b).

Figure 4 : Teneurs en MDA (µg/g produit) des jambons secs.



2.3. Analyse sensorielle des jambons secs

Bien que les teneurs en MDA des jambons secs augmentent avec les régimes riches en AGPI (Figure 4), les qualités sensorielles des jambons secs ne sont globalement pas significativement différentes de celles d'un jambon sec standard issu du commerce (Tableau 2). Les principales différences se situent au niveau de l'aspect des jambons. En effet, les jambons des lots L, L+AOV1 et L+AOV2 sont plus clairs, moins brillants et moins persillés que les jambons du commerce. Ces différences peuvent provenir d'autres facteurs que l'alimentation des animaux, en particulier, le type génétique mais également la conformation et la quantité de gras sous cutané de la pièce primaire du jambon avant sa transformation. Sur les caractères évalués lors de la dégustation, seule la tendreté est affectée significativement par l'enrichissement en AGPI, les jambons du commerce étant jugés plus tendres que les jambons expérimentaux, sauf pour ceux du lot L+AOV1 qui ont une note moyenne de tendreté similaire à celle des jambons commerciaux. Là encore, des différences génétiques mais également de qualité de la pièce primaire avant transformation peuvent influencer ces critères sensoriels. Aucune flaveur ni odeur anormale ne sont détectées dans les différents lots.

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

Tableau 2 : Analyse sensorielle des jambons secs : scores moyens par lot (écarts types entre parenthèse).

	L	L+	L	Lot	Effet
		AOV1	AOV2	Commerce	
Couleur du gras	3,14 (1,31)	3,42 (1,51)	3,58 (1,54)	3,29 (1,83)	ns
Couleur du muscle	3,81 a (1,46)	3,45 a (1,53)	3,76 a (1,60)	6,20 b (1,54)	***
Brillant	3,23 a (1,42)	3,34 a (1,41)	3,08 a (1,29)	5,09 b (1,70)	***
Persillé	2,95 a (1,46)	3,39 ab (1,66)	3,04 a (1,39)	3,97 b (1,75)	***
Odeur anormale	1,25 (1,43)	1,09 (1,29)	1,21 (1,41)	1,17 (1,31)	ns
Tendreté	4,28 a (1,43)	4,78 ab (1,49)	4,17 a (1,60)	5,08 b (1,88)	***
Salé	3,13 (1,94)	3,30 (1,80)	3,42 (1,82)	2,77 (1,56)	ns
Poivré	1,01 (0,88)	1,15 (1,14)	1,11 (1,11)	1,16 (1,05)	ns
Rance	0,67 (0,98)	0,50 (0,61)	0,67 (1,81)	0,41 (0,45)	ns
Piquant	1,25 (1,22)	1,28 (1,18)	1,47 (1,29)	0,92 (0,74)	ns
Foin/ Herbe	0,47 (0,59)	0,50 (0,55)	0,54 (0,61)	0,66 (0,85)	ns
Terre/ Moisi	0,60 (0,85)	0,41 (0,60)	0,40 (0,52)	0,46 (0,61)	ns
Flaveur anormale	0,82 (1,22)	1,16 (1,62)	0,87 (1,24)	1,08 (1,40)	ns

ns : $P > 0,05$, * : $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$, *** : $P < 0,001$

CONCLUSION

L'enrichissement en AGPI n-3 des produits de charcuterie (jambons cuits et secs) et de la viande de porc fraîche (côtes) est possible via l'alimentation des animaux. Ces produits naturellement enrichis en AGPI n-3 ont des potentiels de lipopéroxydation supérieurs à ceux issus de porcs alimentés avec des régimes standards (non enrichis en AGPI). Malgré cela, les qualités organoleptiques des jambons secs enrichis en AGPI n-3 sont globalement similaires à ceux de jambons standards issus du commerce. Cette étude montre également qu'il est possible de faire baisser les niveaux de peroxydation des lipides dans ces produits enrichis en AGPI n-3 par l'ajout d'AOV dans les rations des porcs et ce, sans modification majeure des profils en acides gras de ces produits. L'effet des antioxydants sur la viande de porc et sur les produits de charcuterie étudiés dans cette étude est donc montré. Cependant, l'efficacité de la protection des AGPI face à la peroxydation est fonction du produit (type de charcuterie ou viande) mais également de la nature des AOV utilisés.

Des études sont à poursuivre pour essayer d'améliorer l'efficacité des AOV en testant différentes sources et/ou proportions de leurs mélanges ainsi que les doses à apporter par rapport à celles de vitamine E et des acides gras n-3 de la ration.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les sociétés CCPA et PHYTOSYNTHESE pour l'apport des antioxydants d'origine végétale, la société VALOREX pour la mise à disposition des graines de lin extrudées ainsi que l'ADIV et la société AOSTE pour la transformation des jambons cuits et secs, respectivement.

Ce travail a été mené avec l'appui financier de l'ANR - Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme National de Recherche en Alimentation et Nutrition Humaine, Projet ANR-06-PNRA-018, LIPIVIMUS.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANC, 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. AFSSA, CNERVA, CNRS. Coord. A. Martin. (650 p), Paris, éditions Tec & Doc.
- Allard J., Kurian R., Aghdassi E., Muggli R., Royall D., 1997. Lipid peroxidation during n-3 fatty acid and Vitamin E supplementation in humans. *Lipids*, 32, 535-541.
- Enser M., Richardson R. I., Wood J. D., Gill B. P., Sheard P. R., 2000. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Sci.*, 55, 201-212.
- Folch J., Lees 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.
- Rhee K.S., Ziprin Y.A., Ordonez G., 1987. Catalysis of lipid oxidation in raw and cooked beef by metmyoglobin-H₂O₂, nonheme iron, and enzyme-systems. *J. Agric. Food Chem.*, 35, 1013-1017.
- Gladine C., Morand C., Rock E., Bauchart D., Durand D., 2007a. Plant extracts rich in polyphenols (PERP) are efficient antioxidants to prevent lipoperoxidation in plasma lipids from animals fed n-3 PUFA supplemented diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 136, 281-296.
- Gladine C., Morand C., Rock E., Gruff D., Bauchart D., Durand D., 2007b. The antioxidative effect of plant extracts rich in polyphenols differs between liver and muscle tissues in rats fed n-3 PUFA rich diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 139, 257-272.
- Gobert M., Martin B., Ferlay A., Chilliard Y., Graulet B., Pradel P., Bauchart D., Durand D., 2008. Plant extracts rich in polyphenols and vitamin E protect cows fed an n-3 PUFA-rich diet against lipoperoxidation. *Proc. Nutr. Soc.*, 67, 165.
- Guillevic M., Kouba M., Mourout J., 2009. Effect of a linseed diet on lipid composition, lipid peroxidation and consumer evaluation of French fresh and cooked pork meats. *Meat Sci.*, 81, 612-618.

- Haak L., Raes K., Smet K., Claeys E., Paelinck H., De Smet S., 2006. Effect of dietary antioxidant and fatty acid supply on the oxidative stability of fresh and cooked pork. *Meat Sci.*, 74, 476-486.
- Kouba M., 2006. Effect of dietary omega-3 fatty acids on meat quality of pigs and poultry. In: M. C. Teale (ed.), *Omega-3 fatty acid research* (pp. 225-239). New York, Nova publishers.
- Lecerf J., 2008. Lipides et Santé. *Cah. Nutr. Diét.*, 41, 23-33
- Lee S., Faustman C., Djordjevic D., Faraji H., Decker E.A., 2006. Effect of antioxidants on stabilization of meat products fortified with n-3 fatty acids. *Meat Sci.*, 72, 18-24.
- Morisson W., Smith L., 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluorid methanol. *J. Lipid. Res.*, 5, 600-608.
- Mukai K., Sawada K., Kohno Y., Terao J., 1993. Kinetic study of the prooxidant effect of tocopherol. Hydrogen abstraction from lipid hydroperoxides by tocopheroxyls in solution. *Lipids*, 28, 747-752.
- Oriani G., Salvatori, G., Pastorelli, G., Pantaleo, L., Ritieni, A., Corino, C., 2001. Oxidative status of plasma and muscle in rabbits supplemented with dietary vitamin E. *J. Nutr. Biochem.*, 12, 138-143.
- Rhee K.S., Ziprin Y.A., Ordonez G., 1987. Catalysis of lipid oxidation in raw and cooked beef by metmyoglobin-H₂O₂, nonheme iron, and enzyme-systems, *J. Agric. Food Chem.*, 35, 1013-1017.
- Spitteller G., 2001. Lipid peroxidation in aging and age-dependant diseases. *Exp. Geront.*, 36, 1425-1457.

