

Oxydation des phospholipides du muscle *Pectoralis* chez la dinde au cours de la cuisson

Esther NGAH

Département des Sciences Alimentaires et Nutrition, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun. Courriel : estherngah@hotmail.com

RESUME

La dégradation de la flaveur des produits carnés précuits résulte principalement de l'oxydation des lipides et très probablement des phospholipides. Les travaux ayant trait à l'influence des traitements technologiques sur l'oxydation des lipides sont peu nombreux. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'importance des altérations des phospholipides au cours de la cuisson du muscle *Pectoralis* de dinde. Les échantillons du muscle ont été cuits suivant un protocole industriel (température à cœur en fin de cuisson : 65-70°C) et conservés à -18°C avant les analyses. Pour suivre les dégradations des phospholipides avant et après cuisson, les paramètres suivant ont été analysés : lipides totaux, triacylglycérols, phospholipides, classes des phospholipides, composition en acides gras des principales classes des lipides, le degré d'oxydation par le test à l'acide thiobarbiturique et la composition des composés volatils. Les résultats montrent que la cuisson provoque des dégradations des lipides. Elle occasionne des pertes en phospholipides particulièrement en Phosphatidylethanolamine. Les quantités d'acides gras poly insaturés diminuent fortement dans les Phosphatidylethanolamines. La cuisson provoque aussi une augmentation des composés volatils issus de l'oxydation des acides gras poly insaturés.

Mots clés : Muscle *Pectoralis* de dinde, cuisson, phospholipides, oxydation, composés volatils.

ABSTRACT

Lipids and mainly phospholipids are reported as the major precursors of volatiles arising from oxidation. However, limited information is available on individual phospholipid changes during processing. The aim of this study was to describe phospholipid changes during cooking of Turkey *Pectoralis* muscle. Samples of *Pectoralis* muscles were cooked according to an industrial process (internal cooking end temperature: 65 -70°C) and cooked meat was stored at -18°C prior analysis. Analyses were performed on raw meat and on cooked meat. The following parameters were measured : total lipid, triacylglycerol, and phospholipid contents, relative proportions of the main phospholipid classes, fatty acid composition of individual phospholipid and lipid oxidation level by Thiobarbituric Acid test, conjugated diene value and volatile compounds composition. The results showed that cooking increased significantly the extent of lipid oxidation. Only small changes were observed in phospholipid content except for Phosphatidylethanolamine amount, which was reduced significantly. The main changes in fatty acid composition of lipid classes were observed in Phosphatidylethanolamine which showed a significant decrease in the proportion of arachidonic and long chain n-3 Polyunsaturated Fatty Acid. Total volatile compounds increased significantly after cooking. Major compounds were oxidized lipids compounds.

Key words : *Pectoralis* muscle, cooking, phospholipids, oxidation, volatile compounds.

1. INTRODUCTION

La détérioration de la flaveur des produits carnés précuits se manifeste par l'apparition d'une flaveur atypique caractérisée par des goûts et des odeurs désagréables, suscitant le rejet par le consommateur. Mise en évidence pour la première fois par Tims et Watts (1958) dans les produits carnés précuits conservés à 4°C pendant 48 heures, ce phénomène a été décrit sous le terme « *Warmed-over-flavor* » (WOF). Bien connu des anglo-saxons, grands consommateurs de produits carnés précuits. La WOF reste marginal en France où la filière de ces produits est encore peu développée. Toutefois sa maîtrise est indispensable pour permettre le développement commercial de cette filière en Europe. La flaveur résulte de deux réactions principales : les réactions de Maillard et l'oxydation des lipides. La cuisson joue un rôle prépondérant dans la formation des molécules responsables de la flaveur de la viande cuite. Mais elle est aussi une cause majeure de l'oxydation des lipides. En effet la cuisson crée des conditions favorables à l'oxydation au cours de la conservation à 4°C des muscles cuits : dénaturation de membranes cellulaires, libération du fer héminique. Ainsi la WOF se manifeste par une disparition progressive au cours de la conservation des notes aromatiques caractéristiques de la viande cuite au profit des notes désagréables telles que carton, peinture, rance (St Angelo *et al.*, 1987). Plusieurs travaux ont été consacrés à la WOF (Asghar *et al.*, 1988). Tous indiquent qu'elle résulte principalement de l'oxydation des lipides et très probablement de l'oxydation des phospholipides (Igene *et al.*, 1980). L'altération partielle des phospholipides au cours de la cuisson est indispensable à la formation des molécules responsables de la flaveur caractéristique de la viande cuite (Whitfield *et al.*, 1992). Les phospholipides interviendraient dans les réactions de Maillard par le biais de leurs produits d'oxydation mais également par celui de leur groupement polaire (Whitfield, 1992). Les travaux ayant trait à l'influence des traitements technologiques (cuisson) sur l'oxydation des phospholipides dans les muscles cuits et la formation consécutive de produits volatils sont peu nombreux et souvent fragmentaires. Quelques travaux ont été consacrés à l'étude des dégradations des lipides et de leurs acides gras au cours de la cuisson (Fogerty *et al.*, 1989 et 1990). D'autres ont porté sur l'évolution des composés volatils au cours de l'apparition de la WOF (Fogerty *et al.*, 1991). Cependant, à notre connaissance, aucun de ces travaux n'a été consacré à une étude simultanée de la dégradation des lipides et la formation des composés volatils. De ce fait, les relations qui lient la dégradation des lipides à

l'apparition de la WOF sont encore mal connues. C'est dans ce contexte qu'il est apparu nécessaire d'approfondir les connaissances concernant l'oxydation des phospholipides dans les produits carnés cuits en relation avec la formation des produits volatils. Ce travail avait pour objectif d'évaluer l'importance des altérations subies par les phospholipides et les acides aminés, principaux précurseurs des molécules responsables de la flaveur du muscle *Pectoralis* au cours de la cuisson. Ce travail a été conduit sur le muscle *Pectoralis* de dinde parce que ses muscles sont très sensibles à l'oxydation.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériel

Le muscle *Pectoralis* de dinde a été choisi en raison de la sensibilité ses lipides à l'oxydation, de son coût modéré et de la taille des échantillons. Les animaux ont été fournis par la société Guyomar'ch. Les filets ont été prélevés sur 8 dindons mâles d'un poids moyen de 11,5 kg et âgés de 16 semaines. Les animaux issus d'une même lignée (Doux Chateaulin) ont reçu une alimentation identique. Les muscles (d'un poids moyen de 1,5 kg) ont été prélevés immédiatement après abattage. Huit muscles ont été découpés, chacun, en 5 morceaux de 80-100 g sous forme cubique. Un morceau a été retenu comme échantillon témoin. Les autres morceaux ont été cuits à la vapeur avec un léger braisage dans un braiseur en continu suivant un protocole proche de celui de l'usine de production (Soprat, La vraie Croix). La cuisson a été faite à 190°C pendant 13 minutes, l'humidité relative du four était de 80%. La température à cœur en fin de cuisson était comprise entre 65-70°C. Tous les échantillons de muscles cuits ont été emballés chauds sous vide c'est-à-dire immédiatement après cuisson et conservés à -18°C après refroidissement. Les analyses ont été effectuées sur 16 échantillons : 8 échantillons de muscle crus et 8 échantillons de muscles cuits. Tous les échantillons ont été pesés avant et après cuisson afin de calculer le rendement. Le rendement moyen à la cuisson était de 74%.

2.2. Méthodes

Les lipides ont été extraits du muscle de dinde suivant la méthode de Folch *et al.* (1957). Le phosphore a été dosé dans l'extrait lipidique total suivant la méthode de Bartlett (1959) à laquelle quelques modifications ont été apportées. En effet les lipides ont été minéralisés en présence d'acide perchlorique à 70% au lieu de l'acide chlorhydrique. L'eau millipore a été utilisée à la place de l'eau distillée. Les phospholipides ont été séparés des triacylglycérols sur des cartouches d'acide silicique

Tableau 1 : Acides aminés libres et dipeptides du *Pectoralis* chez la dinde (en mg/100 g de muscle frais)

	Cru	Cuit
Acides aminés non essentiels		
β-Alanine	4,8 ± 1,3 ^a	2,3 ± 1,0 ^b
Alanine	11,1 ± 2,9 ^a	4,9 ± 1,6 ^b
Sérine	11,4 ± 3,5 ^a	4,5 ± 1,7 ^b
Glycine	6,9 ± 2,0 ^a	3,1 ± 0,9 ^b
Arginine	7,1 ± 3,6 ^a	1,8 ± 0,5 ^b
Tyrosine	4,7 ± 2,2 ^a	1,4 ± 0,4 ^b
Proline	4,9 ± 1,8 ^a	2,0 ± 0,6 ^b
Asparagine	5,3 ± 2,5 ^a	1,9 ± 0,6 ^b
Acide aspartique	0,4 ± 0,4 ^a	0,6 ± 0,3 ^b
Acide glutamique	9,1 ± 2,4 ^a	4,1 ± 2,4 ^b
Acides aminés essentiels		
Valine	6,0 ± 2,9 ^a	1,9 ± 0,6 ^b
Isoleucine	4,2 ± 2,0 ^a	1,5 ± 0,5 ^b
Leucine	6,4 ± 2,8 ^a	2,1 ± 0,7 ^b
Thréonine	7,6 ± 3,3 ^a	2,7 ± 0,8 ^b
Méthionine	2,2 ± 1,3 ^a	0,8 ± 0,3 ^b
Histidine	4,5 ± 2,1 ^a	1,2 ± 0,4 ^b
Lysine	9,6 ± 3,7 ^a	1,3 ± 0,3 ^b
Tryptophane	0,2 ± 0,1 ^a	0,0 ± 0,0 ^b
Phénylalanine	4,6 ± 2,1 ^a	1,4 ± 0,5 ^b
Autres acides aminés		
Acide α-aminoadipique	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
Acide γ-aminobutyrique	18,6 ± 4,4 ^a	7,9 ± 3,8 ^b
Acide β-aminoisobutyrique	0,2 ± 0,1 ^a	0,1 ± 0,1 ^b
Hydroxyproline	0,8 ± 0,2 ^a	0,5 ± 0,2 ^b
Phosphosérine	1,6 ± 0,4 ^a	1,2 ± 0,4 ^b
Phosphoéthanolamine	0,7 ± 0,3 ^a	0,2 ± 0,1 ^b
Citruline	1,3 ± 0,9	0,7 ± 0,7
Créatine	3,1 ± 2,2 ^a	0,7 ± 0,2 ^b
Ornithine	1,1 ± 0,6 ^a	0,4 ± 3,4 ^b
Taurine	12,9 ± 4,6 ^a	7,5 ± 0,2 ^b
Total acides aminés	151,5 ± 42,4^a	58,8 ± 14,9^b
Dipeptides		
Cystine	9,9 ± 3,2 ^a	3,3 ± 1,1 ^b
Carnosine	174,1 ± 58,6	119,6 ± 52,5
Ansérine	766,1 ± 109,7	612,4 ± 199,0
Total peptides	950,7 ± 159,7	735,3 ± 247,6

Chaque valeur est la moyenne ± écart-type des mesures effectuées sur six animaux (n = 6). Les valeurs indicées par une lettre différente sont significativement différentes au seuil 5%.

(Sep-pak, Waters) suivant la technique de Juenada et Rocquelin (1985). Les principales classes des phospholipides ont été séparées par chromatographie liquide haute performance (CLHP) suivant la méthode de Leseigneur *et al.* (1989) et quantifiées directement à l'aide d'un détecteur à diffusion de lumière. La composition en acide des phospholipides et des classes des phospholipides a été déterminée après transestérification de ceux-ci suivant la méthode de Berry *et al.* (1965) qui permet une dérivation simultanée des aldéhydes gras et des acides gras. Les esters

méthyliques et les diméthylacétals sont analysés par chromatographie en phase gazeuse. Les pigments hémiques ont été dosés suivant la méthode de Hornsey (1956). La quantité de fer total a été déterminée par spectrométrie d'absorption atomique. Les acides aminés libres et les dipeptides ont été extraits suivant la méthode de Cornet et Bousset (1990). Ils ont été dérivés suivant la procédure de Bidlingmeyer *et al.* (1984) avant d'être analysés par CLHP de phase inverse. Le dosage des produits d'oxydation a été effectué par la mesure des absorbances des lipides à 233 nm et à 280 nm suivant la méthode de Klein (1970); par le test à l'acide thiobarbiturique dans l'extrait lipidique total suivant la méthode de Buege et Aust (1978) et dans le muscle suivant la méthode de Salih *et al.* (1987); enfin les composés volatils ont été extraits par la technique de l'espace dynamique de tête et analysés en chromatographie en phase gazeuse. L'effet de la cuisson a été étudié par comparaison des moyennes. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Student au seuil 5%.

3. RESULTATS

3.1. Dégradation des lipides et des acides aminés libres au cours de la cuisson

Les muscles ont été cuits à 190°C dans un four en continu pendant 13 min. La température à cœur en fin de cuisson était comprise entre 65-70°C. Le rendement global de la cuisson est de 74 ± 10%. Le muscle cuit contient près de 5 fois moins de pigments hémiques que le muscle frais. Par contre la teneur en fer total reste

Tableau 2 : Composition lipidique du *Pectoralis* chez la dinde avant et après cuisson

	CRU	CUIT
<i>g/100 g de muscle frais</i>		
Lipides totaux	1,70 ± 0,33 ^a	1,21 ± 0,28 ^b
Triacylglycérols	1,10 ± 0,34 ^a	0,66 ± 0,29 ^b
Phospholipides	0,60 ± 0,02 ^a	0,55 ± 0,01 ^b
<i>g/100 g de muscle frais</i>		
Diphosphatidylglycérols	16 ± 2	12 ± 2
Phosphatidyléthanolamines	169 ± 9 ^a	109 ± 8 ^b
Phosphatidylsérines	40 ± 9	40 ± 4
Phosphatidylcholines	373 ± 31	365 ± 11
Sphingomyélines	2 ± 1 ^a	4 ± 1 ^b
Phosphatidyléthanolamines /phosphatidylcholines	0,45 ^a	0,31 ^b

Chaque valeur est la moyenne ± écart-type des mesures effectuées sur six animaux (n = 6). Les valeurs indicées par une lettre différente sont significativement différentes au seuil 5%.

inchangée après cuisson. La dégradation des acides aminés libres au cours de la cuisson est importante (tableau 1). Globalement 50 à 80% des acides aminés libres sont détruits pendant la cuisson. Le taux de destruction des acides aminés essentiels est le plus élevé que celui des autres acides aminés (72% contre 60% en moyenne, soit une perte pondérale de 32,4 mg. Les peptides sont également affectés par la cuisson.

Les teneurs lipidiques totaux et triacylglycérols diminuent de 27 et 37% environ alors que celle en phospholipides ne diminue que de 9% (tableau 2). De toutes les classes de phospholipides, les phosphatidyléthanamines sont les plus dégradés au cours de la cuisson. Elles diminuent de 36%. Les phosphatidylcholines et les autres classes de phospholipides ne se dégradent pas significativement. Dans les phospholipides, les pertes en chaînes grasses ne sont pas importantes (tableau 3). Les chaînes grasses des phosphatidyléthanamines subissent le plus dégradations après cuisson. Tous les principaux acides gras diminuent d'au moins 10%.

3.2. Oxydation du muscle cuit au cours de la cuisson.

L'indice des diènes conjuguées (A_{233}/A_{213}) est multiplié par deux après cuisson alors que celui des produits secondaires de l'oxydation des lipides (A_{280}/A_{215}) augmente d'un tiers (tableau 4). Les teneurs en substances réactives à l'acide thiobarbiturique s'accroissent fortement aussi bien dans les lipides (6,7 fois) que dans le muscle (17,5). La cuisson accroît considérablement la quantité des composés volatils identifiés dans le muscle (19 fois) (tableau 5). Non seulement il y formation de nouveaux composés volatils (25 sur les 40 identifiés dans le muscle cuit) mais on observe également une forte augmentation des composés préexistants dans le muscle frais. L'hexanal étant celui qui augmente le plus, car sa quantité est multipliée par 700. Ce sont majoritairement des produits d'oxydation des lipides. Quelques composés sont issus des réactions de Maillard comme par exemple : 2,3-pentanedione, diméthyldisulfure, 1(H)-pyrrole. Ils sont présents en quantités beaucoup plus faibles que les produits

Tableau 3 : Effet de la cuisson sur les compositions en acides gras et aldéhydes gras des phospholipides du muscle *Pectoralis* chez la dinde (mg/100g de muscle frais).

	Phospholipides		Phosphatidyléthanamines		Phosphatidylcholines	
	CRU	CUIT	CRU	CUIT	CRU	CUIT
Acides gras						
16:0	76 ± 4 ^b	83 ± 15 ^a	4,8 ± 1,2	3,7 ± 1,2	67,3 ± 1,6	69,0 ± 3,8
18:0	65 ± 4 ^b	69 ± 1 ^a	19,9 ± 1,2 ^a	14,3 ± 1,1 ^b	30,8 ± 3,0	33,0 ± 2,7
Saturés	143 ± 4^b	152 ± 4^a	24,7 ± 2,0^a	18,5 ± 1,1^b	98,1 ± 3,8	102,0 ± 3,0
16:1	2 ± 0	2 ± 0	1,3 ± 0,2 ^a	0,8 ± 0,2 ^b	1,4 ± 0,6	1,3 ± 0,5
18:1	72 ± 9	63 ± 7	10,6 ± 1,2 ^a	8,9 ± 2,4 ^b	52,8 ± 6,1	50,9 ± 6,0
Monoinsaturés	75 ± 11^a	66 ± 7^b	13,3 ± 1,7^a	10,3 ± 2,5^b	57,0 ± 9,5	52,7 ± 6,2
18:2	77 ± 5 ^a	74 ± 7 ^b	11,8 ± 1,9 ^a	9,4 ± 0,5 ^b	54,0 ± 9,7	56,5 ± 5,1
20:2	4 ± 1	3 ± 1	1,7 ± 1,1 ^a	0,9 ± 0,4 ^b	1,4 ± 0,8	1,5 ± 0,2
20:3	5 ± 1	4 ± 1	1,1 ± 1,0 ^a	0,3 ± 0,1 ^b	2,1 ± 0,6	2,5 ± 0,2
20:4	12,7 ± ^a	11,2 ± ^b	19,3 ± 1,8 ^a	11,3 ± 1,0 ^b	13,2 ± 5,5	13,6 ± 1,4
22:4	8 ± 2	7 ± 1	4,1 ± 0,9	2,4 ± 0,5	2,8 ± 0,9	2,8 ± 0,5
22:5	3 ± 0	2 ± 0	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,8	1,1 ± 0,3	0,7 ± 0,1
n-6	146 ± 6 ^a	130 ± 8 ^b	39,7 ± 1,5 ^a	25,5 ± 1,6 ^b	74,6 ± 10,3	77,6 ± 5,1
18:3	29 ± 2	16 ± 2	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	1,0 ± 0,5	0,7 ± 0,1
n-3	29 ± 2 ^a	16 ± 2 ^b	14,0 ± 1,1 ^a	7,6 ± 0,8 ^b	11,5 ± 3,7 ^a	7,4 ± 1,1 ^b
Polyinsaturés	252 ± 20^a	159 ± 7^b	53,7 ± 1,6^a	33,1 ± 1,8^b	86,2 ± 7,1	85,1 ± 5,5
Aldéhydes gras						
16:0 ald	22 ± 3 ^a	19 ± 2 ^b	13,7 ± 1,3 ^a	7,2 ± 0,6 ^b	16,9 ± 2,0 ^a	13,3 ± 1,4 ^a
18:0 ald	6 ± 1	5 ± 1	8,7 ± 0,7 ^a	4,3 ± 0,7 ^b	1,3 ± 0,3	1,1 ± 0,3
18:1 ald	3 ± 1	3 ± 1	4,7 ± 0,5 ^a	2,9 ± 0,6 ^b	1,7 ± 0,3	1,7 ± 0,3
Total aldéhydes	32 ± 4^a	28 ± 3^b	27,1 ± 1,9^a	14,5 ± 1,4^b	19,9 ± 2,5^a	16,1 ± 1,9^b

Ald. Aldéhyde gras. Chaque valeur est la moyenne ± écart - type des mesures effectuées sur six animaux (n = 6). Dans la même ligne, les valeurs indiquées par des lettres différentes sont significativement différentes au seuil 5%

Tableau 4 : Etat d'oxydation du muscle *Pectoralis* avant et après cuisson

	CRU	CUIT
Diènes conjugués (A ₂₃₃ /A ₂₁₅)	0,242 ± 0,05 ^a	0,43 ± 0,03 ^b
Produits secondaires A ₂₈₀ /A ₂₁₅)	0,060 ± 0,01 ^b	0,11 ± 0,01 ^a
SR-TBA mg éq.MDA/g de lipides totaux	0,006 ± 0,001 ^b	0,04 ± 0,01 ^a
mg éq.MDA/kg de muscle frais	0,024 ± 0,001 ^b	0,42 ± 0,02 ^a

SR-TBA : Substances réactives à l'acide thiobarbiturique
MDA : malondialdéhyde
Chaque valeur est la moyenne ± écart-type des mesures effectuées sur six animaux
Les valeurs indicées par une lettre différente sont significativement différentes au seuil 5%.

d'oxydation des lipides (4 à 10ng d'éq. nonane désorbés/g de muscle).

4. DISCUSSION

Les pertes lipidiques représentent 27% de la quantité des lipides du muscle frais. Ces lipides sont essentiellement les triacylglycérols, les pertes en phospholipides restant faibles (9%). Ce résultat rejoint les observations faites par Gandemer (1990). L'explication de ce résultat réside vraisemblablement dans le fait que les triacylglycérols localisés dans les cellules adipeuses éclatent au cours de la cuisson entraînant l'écoulement des triacylglycérols fondus dans le jus de cuisson. Par contre, les phospholipides sont intimement liés aux protéines dans les membranes cellulaires. Ils ne peuvent donc pas s'écouler à l'extérieur du muscle au cours de la cuisson. Les pertes en phospholipides résultent donc d'une dégradation in situ des acides gras sous l'effet de la chaleur par l'oxydation (Igene *et al.*, 1980) ou par la formation des composés bruns (Keller et Kinsella, 1973). Les phosphatidyléthanolamines sont les phospholipides les plus dégradés au cours de la cuisson (-36%) à cause de leur richesse en acides gras poly insaturés et de la présence d'un groupement NH₂ libre dans leur structure moléculaire. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés antérieurement par Salih *et al.* (1989) ; Shahidi et Pegg (1994) ; Whitefield (1992), Ahn *et al.*, (2001).

La cuisson a provoqué l'oxydation des lipides en augmentant simultanément la formation des produits primaires de l'oxydation (peroxydes) et les

Tableau 5 : Composés volatils du *Pectoralis* chez la dinde avant et après cuisson (en ng d'éq. nonane désorbés / g de muscle)

	CRU	CUIT
<i>Produits d'oxydation des lipides</i>		
Aldéhydes		
Pentanal	45 ± 14 ^b	505 ± 221 ^a
Hexanal	7 ± 2 ^b	4198 ± 1212 ^a
Heptanal	22 ± 13 ^b	133 ± 58 ^a
Octanal	0 ± 0 ^b	88 ± 64 ^a
Nonanal	20 ± 8 ^b	278 ± 79 ^a
Décanal	99 ± 38 ^a	32 ± 3 ^a
Trans-2-hexéanal	0 ^b	4 ± 3 ^a
Trans-2-heptanal	9 ± 8 ^b	27 ± 17 ^a
2,4-heptadienal	0 ^b	24 ± 16 ^a
Trans-2-octenal	0 ^b	22 ± 22 ^a
Trans-2-nonenal	39 ± 6 ^a	8 ± 5 ^b
2,4-décadienal	10 ± 6	16 ± 2
Cétones		
2-heptanone	0	4 ± 5
2-heptanone	4 ± 2 ^b	27 ± 19 ^a
6-méthyl-2-heptanone	0 ^b	16 ± 5 ^a
Benzaldéhyde + heptanone	0 ^b	20 ± 7 ^a
2,3-octanedione	6 ± 7 ^b	202 ± 92 ^a
3-octanone	0 ^b	22 ± 10 ^a
Alcools		
Pentanol	0 ^b	11 ± 10 ^a
Hexanol	15 ± 16	51 ± 35
Octanol	28 ± 18	39 ± 16
1-octen-3-ol	21 ± 7 ^b	268 ± 221 ^a
1,5-octandien-3-ol	0 ^b	14 ± 11 ^a
Alcane et alcènes		
HHeptane	16 ± 13 ^b	92 ± 32 ^a
Octène	0 ^b	222 ± 250 ^a
Décane	0 ^b	9 ± 17 ^a
Hétérocycles		
2-éthyl-furanne	1 ± 1 ^b	6 ± 7 ^a
2-pentyl-furanne	0 ^b	28 ± 19 ^a
Méthylbenzène	12 ± 6 ^b	432 ± 143 ^a
Diméthylbenzène	12 ± 3 ^a	3 ± 5 ^b
Produits des réactions de Maillard		
Furfural	0 ^b	22 ± 4 ^a
3-méthyl-butanal	8 ± 9	12 ± 11
2,3-pentanedione	0 ^b	10 ± 5 ^a
Pyridine	0 ^b	10 ± 16 ^a
1(H)-pyrrole	0 ^b	4 ± 4 ^a
Diméthyl-disulfite	0 ^b	6 ± 6 ^a
Autres		
3-pentanone	0 ^b	323 ± 146 ^a
Undécane	0 ^b	5 ± 5 ^a
Dodécane	7 ± 3	10 ± 6
Tridécane	6 ± 4	9 ± 7
Styrène	0 ^b	5 ± 5 ^a
NI	0 ^b	30 ± 20 ^a
Total	387 ± 170^b	7245 ± 3565^a

Chaque valeur est la moyenne ± écart-type des mesures effectuées sur six animaux (n = 6). Les valeurs indicées par une lettre différente sont significativement différentes au seuil 5%. NI : non identifié

produits secondaires. En effet, l'indice des diènes conjugués, qui est le reflet de la quantité des produits primaires de l'oxydation des lipides, a doublé au cours de la cuisson, confirmant les résultats de St Angelo *et al.* (1975) et de Shahidi et Spurvey (1996). De même, les quantités de produits secondaires de l'oxydation des acides gras estimées par la mesure des substances réactives à l'acide thiobarbiturique ou celle des composés volatils ont fortement augmenté. Ces deux méthodes fournissent des résultats cohérents et permettent de mettre en évidence une explosion de la quantité des produits secondaires de l'oxydation, qui est multiplié par 17 à 20 en moyenne. Ceci indique que la cuisson, non seulement initie l'oxydation des lipides, mais aussi accélère la décomposition des hydroperoxydes en composés volatils. Nos résultats confirment ceux publiés antérieurement qui rapportent tous une augmentation des quantités des substances réactives à l'acide thiobarbiturique au cours de la cuisson (Ahn *et al.*, 1993a). En effet Smith *et al.* (1987) ont montré que la quantité des substances réactives à l'acide thiobarbiturique suit une équation cinétique de premier ordre. L'amplitude des quantités des substances réactives à l'acide thiobarbiturique dépend également du niveau de l'oxydation du muscle avant la cuisson (Ahn *et al.* (1993b). L'étude des composés volatils par la technique de l'espace dynamique de tête fournit des renseignements beaucoup plus précis que le dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique. Cette technique nous renseigne sur la nature exacte des molécules formées notamment, celles qui sont susceptibles d'intervenir dans la détérioration de la saveur. Parmi les nombreuses molécules du muscle qui peuvent moduler les réactions d'oxydation des lipides dans le muscle, le fer apparaît comme l'un des plus puissants catalyseurs de l'oxydation. Nous avons montré que la cuisson conduisait à une chute spectaculaire de la quantité du fer héminique sans celle du fer total soit affectée. Nos résultats sont cohérents avec les observations de Mielche et Bertelsen (1994) qui ont montré que l'un des principaux effets de la cuisson est la libération du fer de l'hème après dénaturation des protéines héminiques ou des porphyrines par la chaleur. Or plusieurs auteurs ont clairement indiqué que le fer libre est un agent prooxydant beaucoup plus efficace que le fer héminique (Ahn *et al.*, 1993c ; Shahidi et Spurvey, 1996). La cuisson a provoqué une destruction massive des acides aminés libres et des peptides. Elle peut être due en partie à leur participation aux réactions de Maillard.

Ce travail montre que la cuisson provoque des dégradations importantes des lipides et des acides

aminés libres et une modification considérable de la nature et de la quantité des composés volatils du *Pectoralis* de dinde. La cuisson occasionne des pertes en phospholipides et plus particulièrement des phosphatidyléthanolamines. Ces pertes résultent d'une dégradation in situ de leurs acides gras sous l'effet de la chaleur. Le principal mécanisme de leur dégradation est l'oxydation. En effet, tous les indices d'oxydation que nous avons pris en compte sont fortement augmentés au cours de la cuisson.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent au Laboratoire d'Etudes des Interactions des Molécules Alimentaires de l'INRA de Nantes où toutes les analyses de cette étude ont été effectuées dans le cadre du programme intitulé *Amélioration de la saveur des produits carnés précuits*, élaboré par l'INRA et la Société des protéines Industrielles, et financé par le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHN DU., AJUYAH A., WOLFE FH., SIM JS. (1993a). Oxygen availability affects prooxidants catalyzed lipid oxidation of cooked turkey patties. *J. Food Sci.* **58** p. 278-282 et 291
- AHN DU., WOLFE FH., SIM JS. (1993b). Prevention of lipid oxidation in pre-cooked turkey meat patties with hot packaging and antioxidant combinations. *J. Food Sci.* **58** p. 283-286.
- AHN DU., WOLFE FH., SIM JS. (1993c). Three methods for determining nonheme iron in turkey. *J. Food Sci.* **58** p. 288-291.
- AHN DU., WOLFE FH., SIM JS. (2001). Lipid oxidation, color, volatiles, and sensory characteristics of aerobically packaged and irradiated pork with different ultimate pH. *J. Food Sci.* **66** (8) p. 1225-1229.
- ASGHAR A., GRAY JI., BUCKEY DJ., PERSON AM., BOOREN AM. (1988). Perspectives on warmed-over-flavor. *Food Technol.* **42**, 102-108.
- BARTELETT GR. (1959). Phosphorus assay in column chromatography. *J. Biol. Chem.*, **234** p. 446-468.
- BERRY JF., CEVALLOS WH., WADE RR.. (1965). Lipids class and fatty acid composition of intact

peripheral nerve and during Wallerian degeneration. *J.A.O.C.S.* **42** p. 492-500.

BIDLINMEYER BA., COHEN SA., TARVIN TN. (1984). Rapid analysis of amino acids using precolumn derivatization. *J. Chromatography.* **336** p. 393-404.

BUEGE JA., AUST SD. (1978). Biomembranes biological oxidations systems in *Methods in enzymology*. Oxygens radicals in biological systems. Packer L. éd. Academic Press; New-York. **105** p. 119.

CORNET M., BOUSSET J. (1990). Free amino-acids and dipeptides in porcine muscle. 36th *Int. Congress of Meat Science and Technology, Cuba*, August 27 – September 1. p. 226-231.

FOGERTY ACN., WHITFIELD FB., SVORONOS D., FORD GL. (1989). Effect of heat on the fatty acids composition of veal meat phospholipids. *Int. J. Food Sci. and Technol.*, **25** p. 304-312.

FOGERTY ACN., WHITFIELD FB., SVORONOS D., FORD GL. (1990). Changes in the composition of the fatty acids and aldehydes of meat lipids after heating. *Int. J. Food Sci. and Technol.*, **25** p. 304-312.

FOGERTY ACN., WHITFIELD FB., SVORONOS D., FORD GL. (1991). The composition of the fatty acid and aldehydes of ethanolamine and choline phospholipids of various meat. *Int. J. Food Sci. and Technol.* **26** p. 363-371.

FOLCH J., LEE M., SLOANE-STANLEY GH. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226** p. 497-509.

GANDEMER G. (1990). Les phospholipides du muscle : composition et altération au cours des traitements technologiques. *Rev. Franç. Corps Gras.* **37** p. 75-81.

HORNSEY HC. (1956). The color of cooked cured pork. I Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.* **7** p. 534-540.

IGENE JO., PEARSON AM., DUGAN LR., PRICE JF. (1980). Role of triglycerides and phospholipids on development of rancidity in model meat systems during frozen storage. *Food Chem.* **5** p. 263-276

JUANEDA P. ROCQUELIN G. (1985). Rapid and convenient separation of phospholipids and phosphorus lipids from rat heat using silica. *Lipids.* **20** p. 40-41

KELLER JD., KINSELLA E. (1973). Phospholipids changes and lipid oxidation during cooking and frozen storage of raw ground beef. *J. Food Sci.* **38** p. 1200-1204.

Klein R.A. (1970). The detection of oxidation in liposome preparations. *Biochem. Biophys. Acta*, **210**, p. 486-489.

LEISEIGNEUR A., GANDEMER G., MARION D. (1989). Fractionnement en classes des lipides alimentaires par HPLC à l'aide d'un détecteur à diffusion de lumière. *Actes du congrès international «Chevreuil» Etude des Corps Gras, Angers, juin.* **1** p. 311-318.

MIELCHE MM. (1995) Development of warmed-over flavour in ground turkey, chicken and pork meat during chill storage; A model of the effects of heating temperature and storage time. *Z. lebensm Unters Forsch.* **200** p. 186-189.

MIELCHE MM., BERTELSEN G. (1994). Approaches to prevention of warmed-over flavour. *Trends Food Sci. Technol.* **51**. 322-327.

SALIH AM., PRICE JF, SMITH DM., DAWSON LE. (1989). Lipid degradation in turkey breast meat during cooking and storage. *Poultry Sci.* **68**. p. 754-761.

SALIH AM., SMITH DM., PRICE JF, DAWSON LE. (1987). Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. *Poultry Sci.* **66**. p. 1483-1488.

SHAHIDI F, PEGG R. (1994). Hexanal as an indicator of the flavor deterioration of meat and meat products. In *Lipids in Food Flavors*. Ho CT., Hartman TM. Ed ACS Symposium series. **558**. p. 256-279.

SHAHIDI F. SPURVEY SA. (1996). Oxidative stability of fresh and heat-processed dark and light muscles of mackerel (*Scomber Scombrus*). *J. Food lipids.* **3** p. 13-25.

SMITH DM., SALIH AM., MORGAN RG. (1987). Haem traitement effects on warmed-over flavor in chicken breast. *J. Food Sci.* **52** p. 842-845.

ST ANGELO AJ., VERCELLOTTI JR.
LEGENDRE MG., VINNETT CH. KUAN JW.,
JAMES C., DUPUY JR. DUPUY HP. (1987). Chemi-
cal and instrumental analyses of warmed-over in beef.
J. Food Sci. **52** p. 1163-1168.

TIMS MJ., WATTS BM. (1958). Protection of cooked
meat by phosphates. *Food Technol.* **12** p. 240-243.

WHITFIELD FB. (1992). Volatiles from interactions
of Maillard reactions and lipids. *CR. Food Sci. Nutr.* **31**
p. 1-58.

Received: 13/10/2003

Accepted: 28/06/2004