



Rapport FranceAgriMer 2015

Projet :

Oxydation des viandes de dindes : Compréhension des facteurs impliqués et recherche de solutions techniques

Projet financé par :

- FranceAgriMer
- ITAVI
- INRA
- CIDEF

Pilotage de l'étude :

- Marie BOURIN (ITAVI)

Janvier 2015

Le présent projet a été conduit dans le cadre collaboratif de l'UMT Bird impliquant l'INRA, l'ITAVI et des abatteurs (Duc, Galéo, Gastronomes et Ronsard).





TABLE DES MATIERES

CONTEXTE	1
1. INTRODUCTION	3
2. MATERIEL ET METHODE	5
2.1. Dispositif expérimental	5
2.2. Données d'élevage	5
2.3. Données relevées en abattoir	5
2.4. Caractérisation physico-chimique et biochimique de la viande	5
2.4.1. Mesures physico-chimiques :	5
2.4.2. Analyse biochimique de la viande :	5
2.5. Evaluation de la fréquence d'apparition et de la gravité des zones d'oxydation	6
2.6. Analyse statistique	7
3. RESULTATS ET DISCUSSION	8
3.1. Fréquence et gravité d'oxydation à J6, J10 et J15	8
3.2. Analyse de variance	9
3.3. Analyse en composantes principales (ACP)	10
CONCLUSION	15



Tables des illustrations

Les Figures

Figure 1 : Grille d'évaluation de la gravité d'oxydation des brochettes de dinde 6

Figure 2 : Fréquence de l'oxydation (% de barquettes oxydées au sein d'un lot) lors des observation à J6 (histogrammes bleus), J10 (histogrammes verts) et J15 (histogrammes oranges) 8

Figure 3 : Gravité de l'oxydation notée sur une échelle de 0 (pas d'oxydation) à 3 (barquette fortement oxydée) lors des observation à J6 (histogrammes bleus), J10 (histogrammes verts) et J15 (histogrammes oranges)..... 8

Figure 4 : Analyse en composante principale des facteurs qualitatifs ayant un impact sur la fréquence et la gravité de l'oxydation à J6 et J15 (sexe en rouge, souches en vert et type de ressuage en bleu) 14

Les Tableaux

Tableau 1 : Impact des facteurs de variations étudiés sur la fréquence d'apparition et la sévérité de l'oxydation mesurées à J+6 et J+15 post-mortem¹ 9

Tableau 2 : Corrélations entre les facteurs de variation étudiés et la fréquence d'apparition et/ou la gravité de l'oxydation mesurées à J+6 et J+15 post-mortem¹ (seuil de significativité à 5%)..... 11

Tableau 3 : Facteurs liés au sexe de l'animal 13



RESUME

Depuis plusieurs années, les abattoirs de dinde sont confrontés à l'apparition de zones de décoloration sur certains produits comme les brochettes ou les sautés. Ce défaut correspond à un phénomène d'oxydation qui s'intensifie au cours du stockage et a pour conséquence le retrait systématique des produits. Jusqu'à présent, les facteurs à l'origine de ces défauts n'ont pas pu être identifiés même si l'alourdissement généralisé des animaux pourrait être un facteur aggravant. Dans cette étude, des suivis ont été réalisés sur 44 lots provenant de 4 abattoirs français. Pour chaque lot, différents paramètres liés à l'animal et à son itinéraire d'élevage et d'abattage mais aussi aux caractéristiques de la viande ont été renseignés. L'apparition des défauts d'oxydation a été suivie visuellement à J+6, J+10 et J+15 sur 50 barquettes de 4 brochettes par lot, en prenant en compte la présence et l'intensité des zones de décoloration. Des prélèvements de viande ont été réalisés pour caractériser la viande sur les plans physico-chimique et biochimique par des mesures de TBA-RS (oxydation des lipides), des dosages de fer héminique (teneur en myoglobine), d'oxygène et de lipides (LIM) et la détermination de la composition en acides gras (saturés, AGS ; mono-insaturés, AGMI ; polyinsaturés, AGPI ; n-6/n-3) ou en autres composés liposolubles (Vitamines E, A, caroténoïdes). Cette étude a permis de mettre en évidence le caractère multifactoriel de l'oxydation des muscles rouges de la dinde. Ainsi des facteurs d'amont concernant l'animal et son alimentation en finition, mais aussi des facteurs liés aux caractéristiques physico-chimiques de la viande jouent un rôle prépondérant dans l'apparition et/ou l'aggravation du phénomène d'oxydation. Selon nos enquêtes, l'oxydation serait favorisée chez les animaux mâles, abattus à des âges plus élevés, dont le GMQ et l'engraissement sont accentués en fin d'élevage et dont le pH ultime musculaire est plus acide. Chez le poulet, la production de viande acide et oxydée a déjà pu être associée à un statut métabolique favorisant le stockage énergétique (lipides, glycogène) au détriment de la synthèse protéique. Parmi les pistes d'amélioration, il peut être proposé de rééquilibrer les rations en finition mais aussi de réduire l'âge à l'abattage des animaux pour limiter les dépôts de lipides mais aussi de glycogène dans les muscles en fin d'élevage.





CONTEXTE

La filière dinde française a vu son volume de production baisser de moitié progressivement depuis 15 ans. Les niveaux de production ont chuté de plus de 50% en 13 ans, ils étaient de 763 180 Tonnes Équivalent Carcasse (TEC) en 2000 alors qu'ils n'étaient plus que de 386 040 tonnes en 2013 (ITAVI, 2014).

Atteinte par de lourds handicaps de compétitivité, notamment d'ordre fiscal (TVA en Allemagne) ou social (différentiel de coût de la main d'œuvre défavorable à la France par rapport aux autres pays producteurs), mais aussi d'ordre organisationnel et technique, la filière française n'a cessé depuis le début des années 2000 de perdre des parts de marché au profit d'autres pays, comme l'Allemagne qui vend de plus en plus dans l'hexagone.

Dans ce contexte en forte évolution, la filière française doit améliorer sa compétitivité si elle veut regagner des parts de marché. Ceci passe par une amélioration des coûts de production mais aussi par une meilleure maîtrise technique, pour adapter les caractéristiques de la matière produite aux exigences des marchés de la découpe et de la transformation. Les principaux enjeux sont liés à l'optimisation des rendements en viande mais aussi à l'amélioration de la qualité technologique, qui conditionne en grande partie l'aptitude à la conservation et les rendements à la transformation de la viande.

Ces dernières années, une recrudescence des problèmes d'oxydation a été constatée chez la dinde. Ces défauts apparaissent sur des produits comme les brochettes (produit phare de la période estivale) ou les sautés, issus des muscles rouges de la cuisse de dinde. La conséquence est l'apparition de zones de décoloration (ou brunissement) qui s'intensifient au cours du stockage et entraîne le retrait systématique des produits. Les fréquences d'apparition de ces défauts sont très élevées, en termes de nombre de lots concernés, mais aussi de pourcentage de produits atteints (16 à 20% selon les abatteurs partenaires), et ces défauts engendrent des pertes économiques considérables.

Jusqu'à présent, les facteurs à l'origine de ces problèmes n'ont pas pu être identifiés par les abattoirs même si l'alourdissement généralisé des animaux (en particulier les mâles) pourrait être un facteur aggravant. La difficulté de la profession à identifier l'origine des problèmes suggère un déterminisme multifactoriel faisant intervenir des facteurs d'amont (génétique, alimentation) mais aussi d'aval (abattage) qui ne sont peut-être plus totalement adaptés aux nouvelles caractéristiques de la production.

Le projet OXYVOL avait donc pour objectif de :

- 1) Identifier *via* une étude épidémiologique en abattoirs industriels de dinde, les facteurs d'amont et d'aval favorisant l'apparition des phénomènes d'oxydation lors de la conservation de brochettes ou de sauté. Cette étape a été réalisée en abattoir avec quatre des professionnels concernés par le problème.



2) Hiérarchiser le rôle respectif des principaux facteurs identifiés grâce à une analyse statistique multifactorielle.

3) Proposer des itinéraires de production de dindes minimisant l'apparition des défauts et valider leur intérêt en conditions industrielles. La mise en place des améliorations proposées se fera en concertation avec les différents secteurs de la filière (alimentation, production, abattage-transformation).

L'impact de différents facteurs d'élevage (âge, souche, sexe, alimentation,...) et d'abattage a été évalué sur l'apparition des phénomènes d'oxydation au cours du stockage sur des brochettes de dinde. Le lien entre l'oxydation et plusieurs caractéristiques de la viande (pH, couleur, composition biochimique,...) a également été analysé. Pour cela, 44 lots ont été suivis dans 4 abattoirs français.

Ce projet a été conduit dans le cadre collaboratif de l'UMT BIRD impliquant l'INRA, l'ITAVI et les abatteurs partenaires (Duc, Galéo, Gastronomes et Ronsard Oléane). Cet essai a également été cofinancé par l'interprofession (CIDEF).



1. INTRODUCTION

L'oxydation de la viande fait intervenir deux processus principaux (Durand *et al.*, 2012). D'une part, la peroxydation lipidique dont les principales conséquences pour la qualité sont une détérioration des qualités nutritionnelles (dégradation des Acides Gras PolyInsaturés ou AGPI et des vitamines) et organoleptiques (odeurs désagréables, rancissement, altération de la couleur) des aliments., et d'autre part, l'oxydation des protéines qui conduit à une perte de fonctionnalité et de biodisponibilité des acides aminés, soit par dénaturation chimique, soit par diminution de la digestibilité des protéines (Gatellier et Santé-Lhoutellier, 2009). Ce phénomène, lorsqu'il touche les acides aminés essentiels, va impacter de manière négative la valeur nutritionnelle des viandes et la vitesse de digestibilité des protéines. Chez la dinde, les processus d'oxydation ont été étudiés de manière détaillée en considérant séparément l'oxydation des lipides, des protéines et la production de radicaux libres et en s'intéressant à différents types de muscles (plus ou moins oxydatifs) de la cuisse et du filet (Gatellier *et al.*, 2000 ; Govaris *et al.*, 2004). Ceci a permis de montrer que la production de radicaux libres était plus élevée dans le muscle pectoral du filet *alors* que l'oxydation des lipides et des protéines était plus importante dans le muscle de la cuisse.

Dans la littérature, de nombreux paramètres liés à la production des animaux ou à leur abattage apparaissent importants à considérer pour mieux comprendre les conditions qui favorisent l'apparition des défauts d'oxydation observés chez la dinde.

Parmi les facteurs de variation liés à l'alimentation, l'apport de lipides, plus ou moins saturés, affecte la sensibilité à l'oxydation (soja > colza et suif) (Gatellier *et al.*, 2000 ; Mercier *et al.*, 1998). L'oxydation des protéines bien que moins sensible à la nature des lipides alimentaires est aussi supérieure chez les dindes nourries avec de l'huile de soja. L'activité des enzymes anti-oxydantes des muscles augmente avec le degré d'insaturation des matières grasses ingérées (huile végétale *vs* matière grasse animale), cette activité étant toujours plus élevée dans les muscles rouges oxydatifs de la cuisse que dans les muscles blancs glycolytiques du filet (Renner *et al.*, 1999). Au contraire, plusieurs études ont démontré l'effet protecteur de la vitamine E (apportée dans l'aliment à des doses comprises entre 150 et 400 ppm) vis-à-vis des phénomènes d'oxydation (Bartov et Kanner, 1996 ; Ahn *et al.*, 1998 ; Yan *et al.*, 2006 ; Gatellier *et al.*, 2000 ; Mercier *et al.*, 1998). Cette molécule liposoluble diminue surtout la production de radicaux libres et l'oxydation des lipides et dans une moindre mesure celles des protéines (Gatellier *et al.*, 2000 ; Mercier *et al.*, 1998). L'ajout de vitamine E permet donc de prévenir l'oxydation des lipides quelle que soit l'origine des matières grasses alimentaires. Il a également été montré que les niveaux de vitamine E accumulés dans les tissus augmentent avec le niveau de saturation des matières grasses ingérées (suif > huiles de soja ou de colza) (Renner *et al.*, 1999). Les niveaux de vitamine E accumulés dans les muscles de dinde dépendent de la dose ingérée, du type de muscle (cuisse > filet) mais aussi de la présence d'autres molécules liposolubles dans l'aliment, tel que le bêta-carotène qui entre en compétition avec la vitamine E (Sarraga *et al.*, 2006). Cependant, les antioxydants tels que la vitamine E doivent être apportés à des niveaux élevés (200 ou 400 ppm), peu compatibles avec les contraintes économiques actuelles, pour prévenir efficacement les phénomènes d'oxydation. D'une manière générale,



l'aliment, qui selon les matières premières utilisées présente un degré d'insaturation des lipides plus ou moins élevé, est un facteur particulièrement important à considérer dans un contexte d'augmentation du prix des matières premières et de compétition avec l'alimentation humaine à même de favoriser l'utilisation de matière première de moins bonne qualité nutritionnelle pour l'alimentation animale.

Les caractéristiques biochimiques de la viande peuvent également influencer sur son oxydation. Dans ce cadre, le fer (ferrique ou ferreux), est à prendre en compte de par son action pro-oxydante qui augmente les niveaux d'oxydation dans les muscles de dindes (Bartov et Kanner, 1996, Ahn et Kim, 1998). Ceci est particulièrement vrai dans le muscle post mortem où l'apport en oxygène et le pH décroissent, augmentant les propriétés catalytiques des pigments héminiques (myoglobine et hémoglobine) vis-à-vis de la peroxydation des lipides (Carlsen *et al.*, 2005). D'ailleurs, l'addition de myoglobine ou d'hémoglobine à des extraits musculaires augmente significativement le niveau de peroxydation lipidique (Monahan *et al.*, 1993). Le pH de la viande est aussi un facteur important à prendre en compte puisqu'il va en partie déterminer la vitesse d'oxydation des pigments héminiques, myoglobine et hémoglobine (Antonini *et al.*, 1965 ; Brown et Mebine, 1969 ; Shikama et Sugawara, 1978).

Les conditions péri-mortem (température, stress, électronarcose) vont quant à elles, influencer l'installation de la rigor mortis et donc déterminer des conditions physico-chimiques (T° , pH) et biochimiques (quantité de sang ou de glycogène résiduel dans les muscles) plus ou moins favorables aux processus d'oxydation. Les paramètres de ressuage des carcasses sont également à prendre en compte puisque, selon le format des animaux, ils vont assurer ou non un refroidissement optimal des muscles.

Enfin, l'origine génétique des animaux est également une part importante à considérer car elle conditionne le format des animaux (et donc la vitesse de refroidissement des carcasses lors du ressuage), mais aussi d'autres caractéristiques (comportement, métabolisme) qui vont influencer les processus biochimiques qui interviennent lors de la transformation du muscle en viande, notamment la cinétique de chute de pH post mortem. Par ailleurs, la sélection génétique vers des animaux de plus en plus lourds et présentant des rendements en viande élevés est susceptible d'influencer les besoins en macro- et micronutriments, dont les antioxydants.



2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Dispositif expérimental

Au total, quarante-quatre lots de dinde ont été suivis dans 4 abattoirs du Grand Ouest (bassin de la production française de dindes) entre juillet 2013 et septembre 2014 (sur les périodes estivales uniquement). Sur ces lots, plusieurs données ont été recueillies ou mesurées.

2.2. Données d'élevage

Pour chacun des lots, plusieurs paramètres d'amont ont été relevés tels que la souche, le sexe, l'âge de l'animal à l'abattage, le nombre d'animaux de la bande et les poids vifs moyens estimés 15 et 8 jours avant abattage ce qui a permis de calculer le gain moyen quotidien (GMQ) sur ces 2 périodes. Des données sur l'aliment finition distribué ont également été récupérées : temps de distribution de l'aliment, taux de protéines et de matière grasse, valeur énergétique, taux d'acide linoléique et linolénique, teneur en vitamines A et E et en sélénium, durée de mise à jeun avant abattage.

2.3. Données relevées en abattoir

Lors du suivi des lots, plusieurs mesures ont été réalisées en abattoir : mesures d'ambiance (températures à différents endroits de la chaîne d'abattage), chronométrage du temps d'accrochage et des temps entre narcose et fin de saignée.

Les paramètres de narcose ainsi que le mode de ressuage ont été relevés

2.4. Caractérisation physico-chimique et biochimique de la viande

2.4.1. Mesures physico-chimiques :

Au moment de la découpe (le lendemain de l'abattage), des mesures de couleur (luminance (L^*), indice de rouge (a^*) et indice de jaune (b^*)) et de pH ultime (pHu) ont été réalisées sur le muscle *Iliotibialis* de 8 cuisses par lot. Quarante-vingt-dix autres mesures de pHu ont également été prises sur les découpes de cuisses (mélange de muscles) issues de ces mêmes lots.

2.4.2. Analyse biochimique et microbiologique de la viande :

A J+1 un mélange de muscles de 4 brochettes a été congelé pour être analysé ultérieurement. Les mesures réalisées étaient : les teneurs en lipides, matières sèches, protéines, fer héminique, lactate et glycogène et la composition en acides gras (AGS, AGMI, AGPI, n-3/n-6). La quantité d'oxygène dissout dans le muscle, ainsi que la quantité de fer libre total (ppm), de glycogène ($\mu\text{mol/g}$), de lactate ($\mu\text{mol/g}$), de lutéine ($\mu\text{g/g}$ de tissu frais), de rétinol ($\mu\text{g/g}$ de tissu frais), d'alpha et gamma-tocophérol ($\mu\text{g/g}$ de tissu frais) et le potentiel glycolytique du muscle ont aussi été mesurés. L'indice TBA-RS (indicateur de l'état d'oxydation de la viande) a été évalué après décongélation et 3 jours de stockage à 4°C.



Par ailleurs, lors de la première campagne (été 2013), une barquette de chacun des lots a été envoyée en analyse au laboratoire de Touraine à J15, afin de vérifier le niveau et la nature de la contamination des brochettes et analyser un éventuel lien entre cette contamination et l'apparition du phénomène d'oxydation. Les souches microbiennes recherchées étaient les levures et moisissures, *E. coli*, *Pseudomonas sp.* et *Clostridium perfringens*.

2.5. Evaluation de la fréquence d'apparition et de la gravité des zones d'oxydation

Le suivi de l'oxydation a été réalisé visuellement sur 50 barquettes de 4 brochettes pure viande. Elles étaient toutes conditionnées en barquette plastique, sans buvard, sous une atmosphère modifiée contenant 70% d'O₂ et 30% de CO₂. Ces barquettes ont été transportées des abattoirs au laboratoire en respectant la chaîne du froid. Elles ont ensuite été placées en chambre froide à 4°C pendant 10 jours, puis à 8°C pendant 5 jours (condition correspondant à un test de vieillissement classique).

L'observation de l'apparition du phénomène d'oxydation a été réalisée visuellement à J+6, J+10 puis en fin de DLC à J+15. Pour chacun des lots, la fréquence d'oxydation a été évaluée en comptant le nombre de barquettes atteintes par le phénomène au sein de chaque lot, ce qui permettait d'estimer la prévalence du phénomène pour chacun des lots. La seconde évaluation consistait à noter l'intensité ou la gravité du phénomène d'oxydation (intensité de la décoloration, surface de la zone atteinte). Pour ce faire, chacune des barquettes obtenait une note en fonction de son degré d'oxydation allant de 0 pour une barquette n'ayant pas d'oxydation visible à 3 pour une barquette présentant des zones de décoloration très marquées et étendues (Figure 1). Pour chacun des lots, la moyenne des notes obtenues a été calculée.

6

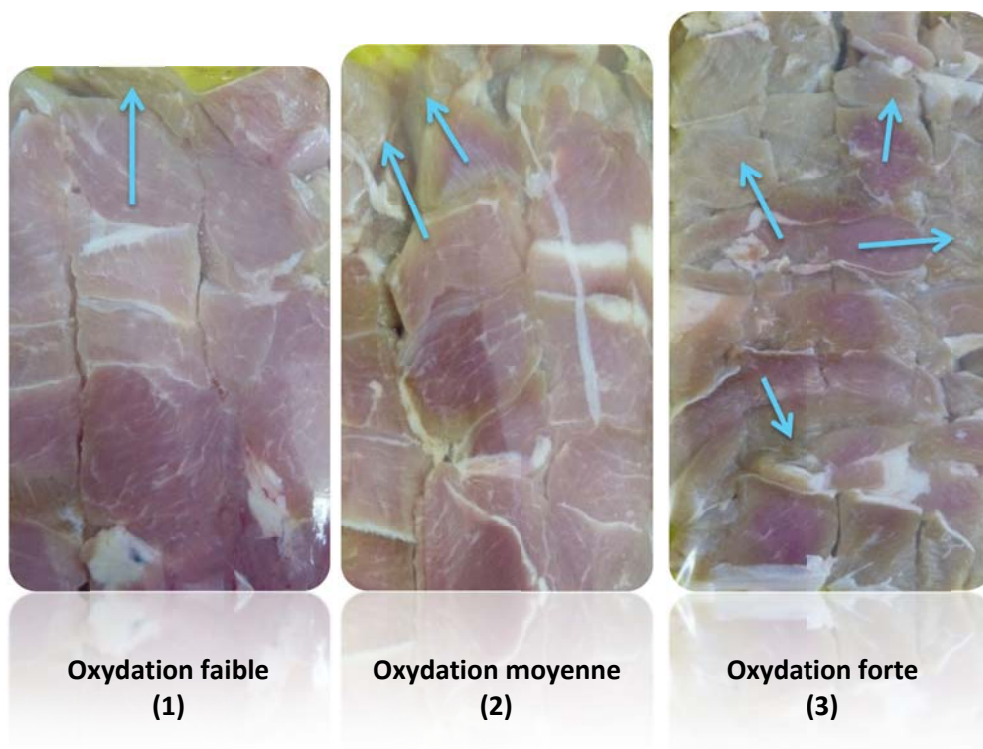


Figure 1 : Grille d'évaluation de la gravité d'oxydation des brochettes de dinde



2.6. Analyse statistique

La distribution des facteurs de variation a été analysée afin de définir des classes. Une analyse de variance (ANOVA) a ensuite été réalisée avec le logiciel StatView en fonction des classes définies pour évaluer l'effet de chacun des facteurs de variation étudié sur la fréquence et la sévérité des problèmes d'oxydation observés à J+6 et J+15.

Puis, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec le logiciel SPAD pour définir les corrélations existantes entre les différents facteurs de variation étudiés et l'incidence des défauts d'oxydation à J+6 et J+15.

Les effets des facteurs d'amont liés à l'animal (souche, sexe, GMQ 8 jours ou 15 jours avant abattage, temps de mise à jeun, âge à l'abattage, poids vif), ou à l'aliment finition (composition, durée de distribution,...), ceux liés aux abattoirs (vitesse de chaîne d'abattage, temps accrochage avant narcose, temps de narcose, entre fin narcose et saignée et de saignée, température à l'accrochage et à la narcose – saignée) et ceux liés aux caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la viande (température, pH et paramètres de couleur L^* , a^* , b^* du muscle *Iliotibialis*, température et pH des découpes de cuisse, taux de protéine, de matière sèche, de lipides, de fer héminique ou libre, de glycogène, de lactate d'oxygène, index TBA-RS, quantités d'acide gras saturés (AGS), mono-insaturés (AGMI) et polyinsaturés (AGPI), ratio n-6/n-3...), concentrations en vitamines et lutéine ont été testés au risque de 5% pour la fréquence et la gravité de l'oxydation à J6 et J15.



3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Fréquence et gravité d'oxydation à J6, J10 et J15

Le suivi de l'apparition des défauts sur les brochettes a été réalisé au sein des laboratoires de l'INRA.

Il a été observé qu'à J6 apparaissent les premiers défauts d'oxydation. Ces défauts s'accroissent au cours du temps (Figure 2 et 3) :

- **J6** : 19 lots sur 44 contaminés allant de 2 à 53% de barquettes touchées et une note de 0,02 à 0,83 / 3 en gravité
- **J10** : 40 lots sur 44 contaminés allant de 2 à 100% de barquettes touchées et une note de 0,02 à 2,26 / 3 en gravité
- **J15** : 41 lots sur 44 contaminés allant de 5 à 100% de barquettes touchées et une note de 0,04 à 2,92 / 3 en gravité

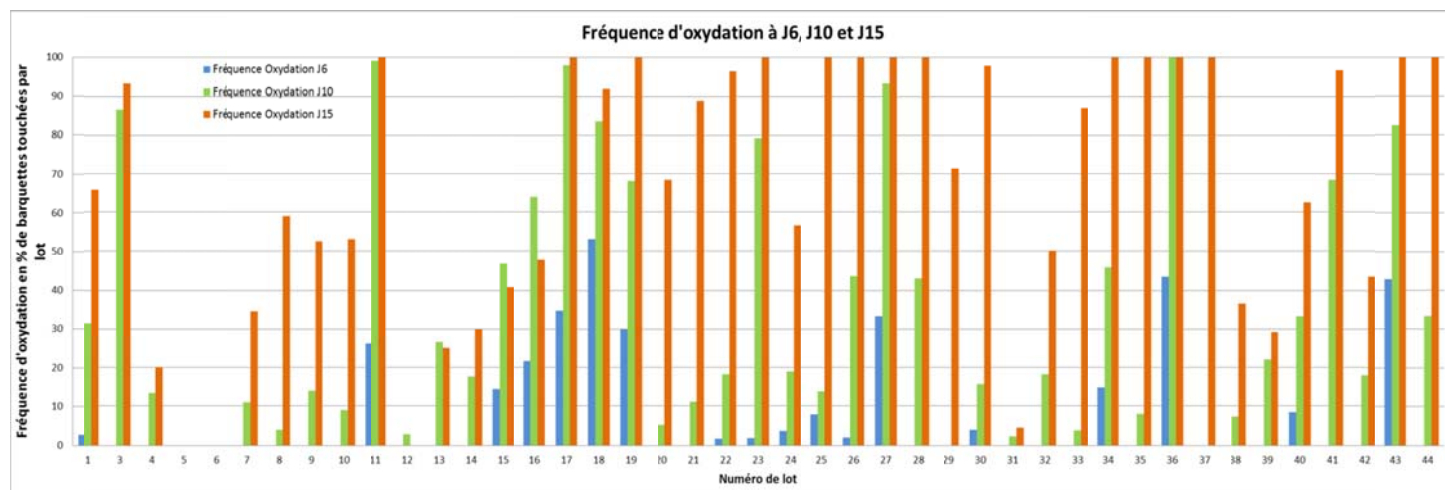


Figure 2 : Fréquence de l'oxydation (% de barquettes oxydées au sein d'un lot) lors des observations à J6 (histogrammes bleus), J10 (histogrammes verts) et J15 (histogrammes oranges)

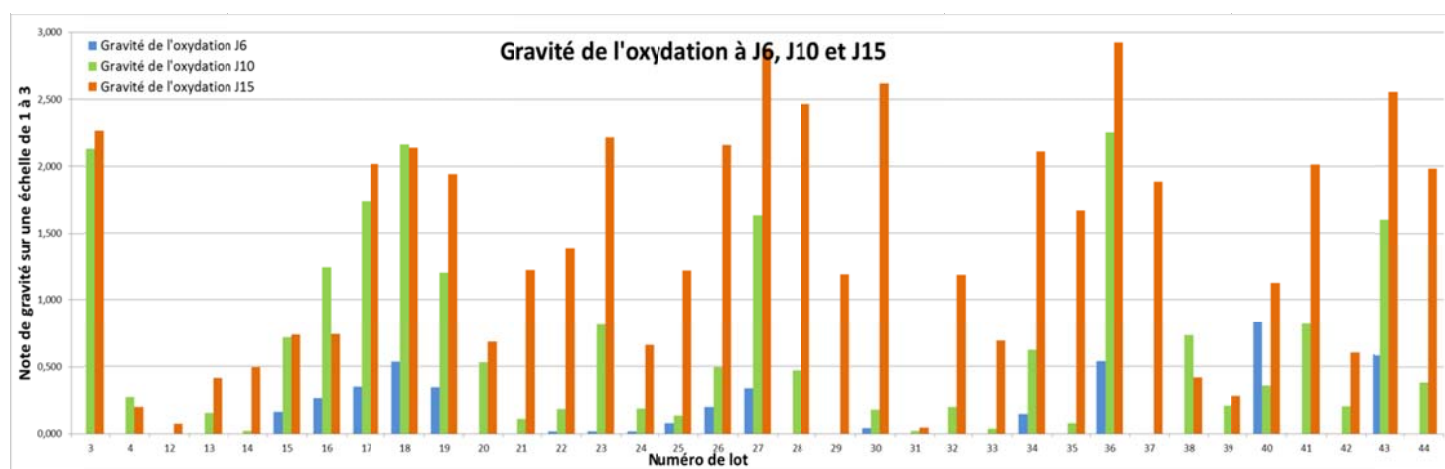


Figure 3 : Gravité de l'oxydation notée sur une échelle de 0 (pas d'oxydation) à 3 (barquette fortement oxydée) lors des observations à J6 (histogrammes bleus), J10 (histogrammes verts) et J15 (histogrammes oranges)



La fréquence d'oxydation et sa gravité augmentent au cours du temps. Dès J6, 43% des lots sont atteints même si la gravité de l'oxydation est faible (note <1). A partir de J10, la proportion des lots touchés a considérablement augmenté pour atteindre 91%. Ce taux d'oxydation reste le même à J15, cependant la gravité du phénomène d'oxydation s'amplifie pour passer de 2,3 à 2,9 entre J10 et J15. L'analyse des facteurs pouvant être à l'origine de ce phénomène d'oxydation a été réalisée à J6, celle des facteurs d'aggravation de l'oxydation a été réalisée à J15. L'oxydation observée à J10 est considérée comme étant la continuité de J6 et les prémices de J15, et n'apporte pas d'information complémentaire.

3.2. Analyse de variance

La description statistique des facteurs de variation quantitatifs analysés est présentée dans l'annexe 1. Les facteurs qualitatifs ou quantitatifs ayant un impact significatif sur la fréquence et la gravité de l'oxydation sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Impact des facteurs de variations étudiés sur la fréquence d'apparition et la sévérité de l'oxydation mesurées à J+6 et J+15 post-mortem¹

	Facteurs	Oxydation à J+6		Oxydation à J+15	
		Fréquence	Gravité	Fréquence	Gravité
Caractéristiques des animaux	Sexe	NS	p < 0,05 Mâles*	NS	NS
	GMQ 15 jours avant abattage	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗	NS	NS
	Age à l'abattage	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗	NS	NS
Caractéristiques de l'aliment finition	Durée de distribution	p < 0,01 ↗	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗	p < 0,01 ↗
	Valeur énergétique	NS	NS	p < 0,05 ↘	NS
	Ratio protéines/énergie	NS	NS	p < 0,05 ↘	NS
	Taux de matières grasses	p < 0,05 ↗	NS	NS	NS
	Taux de vitamine E	NS	NS	NS	p < 0,05 ↘
Caractéristiques de la viande	Composante a* du muscle <i>Iliotibialis</i>	NS	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗
	Composante b* du muscle <i>Iliotibialis</i>	NS	NS	p < 0,05 ↗	p < 0,05 ↗
	pHu des découpes de cuisse	p < 0,05 ↘	NS	NS	NS
	Taux de matières sèches des brochettes	NS	NS	p < 0,01 ↗	p < 0,05 ↗
	Ratio AG n-6/AG n-3 des brochettes	NS	NS	p < 0,05 ↗	NS

↗: le phénomène d'oxydation augmente lorsque la valeur du facteur mesuré augmente, ↘: le phénomène d'oxydation augmente lorsque la valeur du facteur mesuré diminue, *l'oxydation est la plus forte chez les mâles.

¹Seuls les facteurs ayant un impact significatif (P<0,05) sur l'oxydation des brochettes sont présentés dans le tableau.



Les paramètres liés à l'animal (sexe, GMQ 15 jours avant abattage, âge à l'abattage) jouent un rôle prépondérant dans l'initiation de l'oxydation, évaluée 6 jours post-mortem. Ainsi, la fréquence et la sévérité de l'oxydation à J+6 est accrue dans la viande provenant d'animaux âgés et dont le GMQ dans les 15 derniers jours est élevé. La gravité de l'oxydation à J+6 est par ailleurs accrue chez les mâles. Il est à noter, que ces trois critères sont liés entre eux, les mâles étant abattus en moyenne à des âges plus tardifs que les femelles (124 vs 89 jours) et ayant un GMQ dans les 15 derniers jours plus élevé que celui des femelles (132 vs 101 g/jour).

Les caractéristiques et modalités de distribution du dernier aliment finition ont également un effet sur l'apparition et l'aggravation du phénomène d'oxydation au cours du stockage. Ainsi, l'augmentation de la durée de distribution favorise l'initiation et l'amplification de l'oxydation au cours du temps. Des teneurs élevées en matière grasse dans l'aliment finition favorisent également l'apparition de l'oxydation à J+6 alors que l'augmentation de sa valeur énergétique, de son ratio protéines/énergie et de sa teneur en vitamine E permettent de réduire la sévérité de l'oxydation de la viande observée en fin de DLC.

Plusieurs caractéristiques de la viande jouent également un rôle dans l'apparition des phénomènes d'oxydation tel que le pHu qui lorsqu'il diminue augmente la fréquence d'oxydation à J+6. Le pH de la viande est un facteur important puisqu'il va en partie déterminer la vitesse d'oxydation des pigments héminiques, myoglobine et hémoglobine et donc favoriser les phénomènes d'oxydation de la viande (Brown et Mebine, 1969 ; Shikama et Sugawara, 1978). Une intensification de la couleur de la viande dans le rouge (a^*) et le jaune (b^*) est liée à l'amplification de l'oxydation. L'indice a^* peut être un indicateur de la présence de sang dans les muscles et sa valeur augmente avec la quantité de sang. L'indice de couleur b^* peut être une estimation de l'état d'engraissement des animaux, la proportion en matière grasse étant corrélée à l'oxydation de la viande (Durand *et al.*, 2012). Il peut aussi refléter la présence de pigments caroténoïdes de couleur jaune. Le taux de matière sèche et le ratio acides gras n-6/n-3 de la viande représentent aussi des facteurs aggravants du phénomène d'oxydation.

Une analyse microbiologique a été réalisée sur une barquette de brochettes en fin de DLC (J15) pour chacun des lots suivis lors de la première campagne (été 2013). Il s'avère que tous les lots étaient contaminés en levures/moisissures (jusqu'à $4,5 \times 10^5$ Unités Formant Colonie ou UFC) et en *Pseudomonas sp.* (jusqu'à 2×10^7 UFC) qui sont des flores d'altération. Ces contaminations s'accompagnaient d'une forte odeur de viande avariée mais aucune relation avec le niveau d'oxydation de ces lots n'a été mise en évidence.

3.3. Analyse en composantes principales (ACP)

Les données d'amont (fiche ICA), relevées en abattoir, issues des mesures de qualité de la viande (pHu, couleur), des analyses biochimiques de la viande de brochette et des caractéristiques des aliments finitions ont été analysées en composante principale.

L'ACP révèle un certain nombre de corrélations significatives entre plusieurs facteurs de variation et la fréquence ou l'intensité des phénomènes d'oxydation observées sur les brochettes à J+6 et J+15. Seuls les facteurs ayant un impact significatif sur l'oxydation sont présentés dans le Tableau 2.



Tableau 2 : Corrélations entre les facteurs de variation étudiés et la fréquence d'apparition et/ou la gravité de l'oxydation mesurées à J+6 et J+15 post-mortem¹ (seuil de significativité à 5%)

	J6		J15	
	Fréquence	Gravité	Fréquence	Gravité
GMQ 8j avant abattage (g/jour)	/	/	0,38	/
GMQ 15j avant abattage (g/jour)	/	0,38	/	/
Age à l'abattage (jours)	0,42	0,37	/	/
Poids vif (Kg)	0,34	/	/	/
vitesse de chaîne d'abattage (nb d'animaux /h)	-0,33	-0,33	/	-0,39
Temps de saignée (min)	0,33	/	0,31	0,58
a* de la cuisse (indice de rouge)	0,42	0,42	0,36	0,44
pH des découpes de cuisse (mélange de muscles)	-0,33	/	/	/
Température à l'accrochage (°C)	-0,31	/	/	/
Temps d'atteinte des 4°C des carcasses (minute)	/	/	/	0,39
Durée de distribution de l'aliment finition (jours)	0,45	/	/	/
Taux de Matière Grasse dans l'aliment finition	0,32	/	/	/
TBA-RS (U.A.)	0,45	/	/	/
Fer (µg/g) (brochettes)	0,42	0,57	0,39	0,42
C18:0 (%)	-0,32	/	/	/
C18:3 (%)	/	/	-0,39	/
C22:5 n-3 (%)	/	/	-0,41	/
C22:6 n-3 (%)	/	-0,33	/	/
Quantité AGS (g)	/	/	0,39	/
AG n-3 (%)	/	/	-0,40	/
n-6/n-3	/	/	0,40	/
oxygène (mg/mL)	-0,42	-0,60	/	/

¹Seuls les facteurs ayant un impact significatif ($P < 0,05$) sur l'oxydation des brochettes sont présentés dans le tableau

Selon l'ACP, plusieurs paramètres liés à l'animal favorisent le démarrage du phénomène d'oxydation et sont corrélés à la fréquence et/ou la gravité de l'oxydation à J+6 (Tableau 2). C'est le cas du GMQ sur les 15 derniers jours avant abattage, de l'âge à l'abattage et du poids vif des animaux, mais



également de la durée de distribution de l'aliment finition ainsi que de son taux de matière grasse. Ces résultats confirment ceux de l'analyse de variance.

Plusieurs caractéristiques de la viande semblent également favoriser l'apparition du phénomène d'oxydation telles que les pH acides mais aussi une forte teneur en fer héminique et de faibles pourcentages en acides gras C18:0 et C22:6 n-3 et en oxygène. Concernant ce dernier résultat, il est probable que les muscles les plus oxydés aient utilisé plus d'oxygène, expliquant leur teneur plus faible en ce composé. Un lien positif significatif a par ailleurs été confirmé entre la fréquence d'apparition de l'oxydation à 6 jours post-mortem observée sur barquette et les valeurs de TBA-RS mesurés sur la même viande.

Certains facteurs d'abattage semblent également aggraver le phénomène d'oxydation. C'est le cas de la diminution de la cadence d'abattage et de l'augmentation du temps de saignée ainsi que du temps de refroidissement des carcasses. En effet, il semblerait qu'un ressuage dynamique soit plus efficace pour le refroidissement des carcasses et protège en partie de l'oxydation (Figure 4). Cependant il est à noter que ces facteurs sont intimement liés aux caractéristiques intrinsèques des abattoirs et qu'il est difficile d'apprécier leur impact propre face au phénomène d'oxydation.

Les facteurs favorisant l'amplification de l'oxydation pendant le stockage (J+15) ne sont pas systématiquement ceux impliqués dans l'initiation du phénomène (J+6). Ainsi, une quantité élevée en AGS et un fort ratio n-6/n-3 augmentent le nombre de barquettes affectées par le défaut en fin de DLC. Une quantité élevée d'AGS dans le muscle est le marqueur d'une lipogenèse hépatique et donc d'un engraissement des animaux accrus. D'ailleurs, les brochettes présentant les pourcentages en acides gras n-3 et plus particulièrement C18:3 et C22:6 n-3, sont moins sensibles à l'oxydation.

La composante a^* de la couleur de la viande et la quantité de fer héminique, qui sont liés (r de +0,73), sont aussi impliqués dans l'aggravation du phénomène d'oxydation au cours du stockage. Ils sont proportionnels à la quantité de sang dans les muscles, qui est connue pour favoriser l'oxydation de la viande (Monahan *et al.*, 1993).

Les facteurs qualitatifs tels que le sexe, la souche, et le type de ressuage ont également été analysés au regard de l'oxydation à J6 et J15 (Figure 4). Il apparaît que les mâles ont une viande qui s'oxyde plus. Mais il est à noter que les mâles sont également abattus plus vieux que les femelles, ils ont aussi un GMQ les 8 et 15 derniers jours avant l'abattage et un poids vif supérieur à celui des femelles. Leur viande est plus acide, plus claire et plus rouge, et le temps d'atteinte à 4°C de leur carcasse est plus élevé que celui des femelles. De plus, ils consomment plus longtemps de l'aliment finition, avec des taux de vitamine A, de protéines et un ratio protéines/énergie plus faibles (Tableau 3).

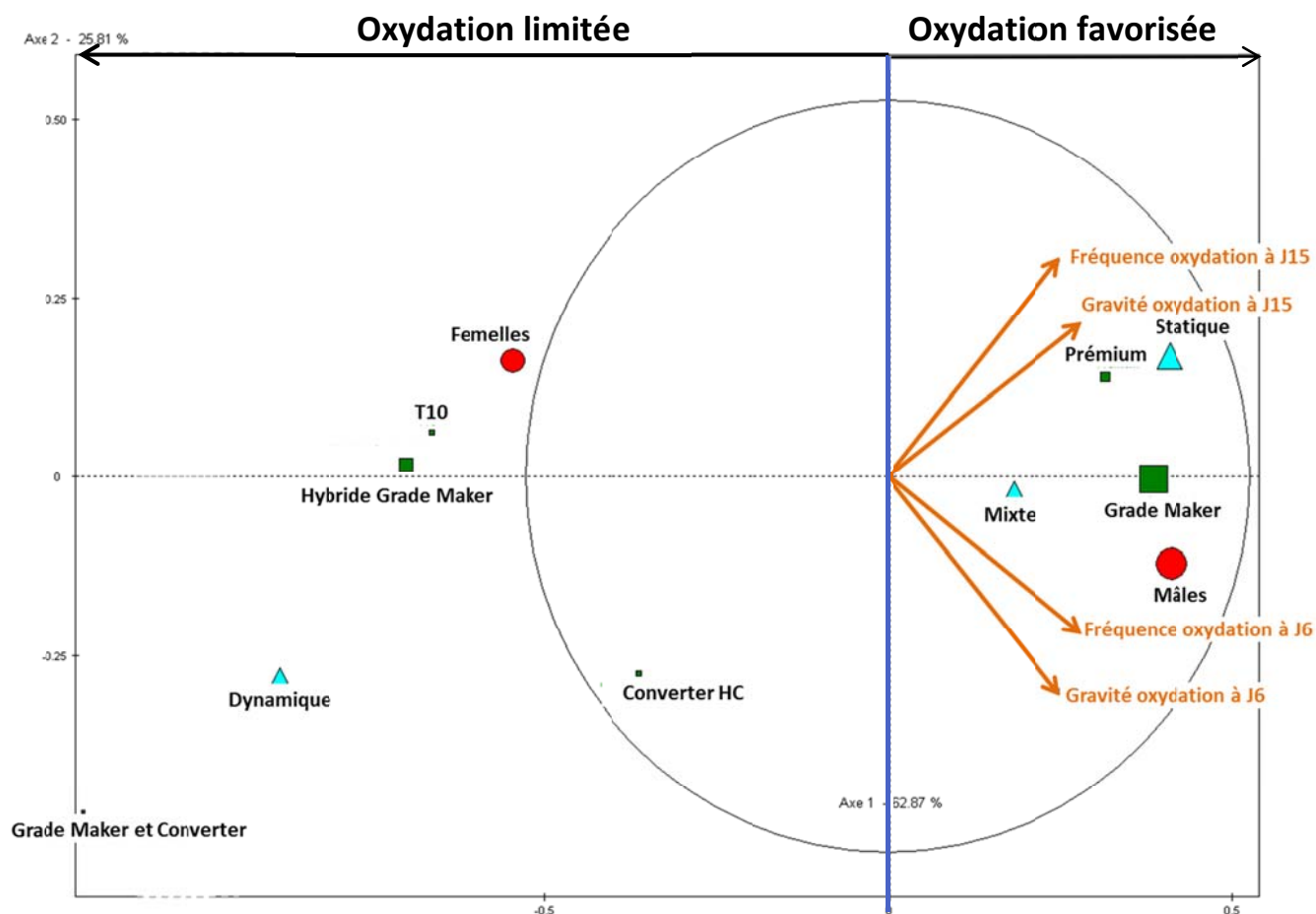


Tableau 3 : Facteurs liés au sexe de l'animal

	Variables	Femelles			Mâles			Valeur de p
		Nb	Moyenne	Ecart-type	Nb	Moyenne	Ecart-type	
Oxydation	Fréquence d'oxydation à J6	18	3,14	8,58	25	11,61	16,74	0,056
	Fréquence d'oxydation à J10	18	22,72	23,86	25	42,08	36,13	0,055
	Fréquence d'oxydation à J15	19	62,05	35,61	25	70,08	33,40	NS
	Gravité d'oxydation à J6	16	0,05	0,10	19	0,20	0,26	0,038
	Gravité d'oxydation à J10	16	0,36	0,42	19	0,85	0,79	0,035
	Gravité d'oxydation à J15	17	1,16	0,76	19	1,58	0,93	NS
Facteurs d'Elevage caractéristiques biochimiques de la viande	GMQ les 8 derniers jours (g/jour)	19	87,49	30,21	25	112,78	32,93	0,012
	GMQ les 15 derniers jours (g/jour)	19	101,43	18,41	25	132,18	31,52	0,001
	Age (jours)	19	90,16	7,16	25	126,80	15,16	<0,0001
	Poids vif en Kg	15	7,07	0,53	22	14,60	3,15	<,0001
	pHu cuisse	19	6,22	0,15	25	6,08	0,17	0,008
	L* cuisse	19	48,86	2,16	25	50,48	2,73	0,039
	a* cuisse	19	9,63	0,99	25	12,11	1,27	<0,0001
	pH Découpe	19	6,36	0,10	25	6,21	0,18	0,002
	Durée (min) de refroidissement de la carcasse (4°C)	13	333,46	217,46	12	532,33	242,78	0,041
Facteurs d'alimentation finition	Durée de distribution de l'aliment finition (jours)	12	9,92	5,79	11	22,64	9,62	0,001
	Taux Protéine de l'aliment finition (%)	12	18,58	1,03	11	17,20	0,97	0,004
	Ratio protéine sur Energie	11	0,01	0,00	11	0,01	0,00	0,001
	Vitamine A dans alimentation finition (UI/kg)	16	8258,19	998,86	19	7175,26	1608,17	0,026



Concernant les souches, les Converter et Grade Maker ont une viande qui s'oxyde plus et qui est aussi plus acide et plus claire que celle des autres souches présentes dans l'étude.



14

Figure 4 : Analyse en composante principale des facteurs qualitatifs ayant un impact sur la fréquence et la gravité de l'oxydation à J6 et J15 (sexe en rouge, souches en vert et type de ressuage en bleu)



CONCLUSION

Les problèmes d'oxydation sur la viande de dinde ne sont pas nouveaux. Ils ont fait l'objet d'un nombre important d'études mais aucune n'a envisagé la problématique de manière globale. Afin d'aider la filière à mettre en place des mesures permettant de réduire l'incidence du problème, notre étude a évalué dans le cadre d'une analyse multifactorielle l'impact potentiel de différents types de facteurs liés à l'itinéraire de production des animaux mais aussi aux caractéristiques intrinsèques de la viande produite. Cette étude a mobilisé quatre abattoirs dont l'implication du personnel a permis un suivi précis des lots d'abattage mais aussi une standardisation du mode de conditionnement de la viande pour éviter toute interaction avec les facteurs étudiés.

Notre étude a confirmé le déterminisme multifactoriel des phénomènes d'oxydation qui apparaissent sur les muscles rouges de la cuisse. L'itinéraire d'élevage des animaux sur la période de finition a un impact majeur sur l'apparition précoce du phénomène mais aussi sur son aggravation au cours du temps. En effet, les facteurs d'élevage en finition sont susceptibles d'impacter certaines caractéristiques de l'animal et de sa viande contribuant ainsi à l'apparition des phénomènes d'oxydation lors du stockage de la viande. Parmi les pistes d'amélioration à envisager, il semblerait que distribuer en finition un aliment mieux équilibré en termes de concentration protéique et de valeur énergétique permettrait, en modifiant le métabolisme de l'animal, de réduire l'apparition des phénomènes d'oxydation sur les produits. En effet, des ratios énergie/protéine trop élevés favorisent les dépôts énergétiques. Le glucose est soit transformé et stocké en AGMI soit stocké sous forme de glycogène, ce qui peut avoir pour conséquence un engraissement plus important des animaux et la production de viandes plus acides. La diminution de l'âge à l'abattage pourrait permettre également de limiter l'engraissement des animaux et donc l'incidence des défauts d'oxydation chez la dinde.

Au-delà des facteurs d'amont, cette étude a suggéré plusieurs facteurs d'abattage ou liés au ressuage des carcasses pouvant influencer l'apparition des défauts d'oxydation. Cependant, ces facteurs sont souvent spécifiques d'un abattoir et parfois liés les uns aux autres, d'où la difficulté de conclure quant à l'effet propre de chacun d'entre eux. L'étape suivante sera donc d'analyser l'impact de ces facteurs en les faisant varier au sein d'un même abattoir. Enfin, le conditionnement (atmosphère modifiée) des barquettes est connu pour affecter le développement de l'oxydation au cours du temps et des recherches sont encore nécessaires pour définir les meilleurs mélanges gazeux qui permettront de limiter les phénomènes d'oxydation tout en préservant une présentation du produit, notamment en termes de couleur, et une qualité sanitaire optimale.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahn DU, Kim SM. Effect of superoxide and superoxide-generating systems on the prooxidant effect of iron in oil emulsion and raw turkey homogenates. Poult Sci. 1998. 77(9):1428-1435.
- Ahn DU, Sell JL, Jo C, Chen X, Wu C, Lee JI. Effects of dietary vitamin E supplementation on lipid oxidation and volatiles content of irradiated, cooked turkey meat patties with different packaging. Poult Sci. 1998. 77(6):912-920.
- Bartov I, Kanner J. Effect of high levels of dietary iron, iron injection, and dietary vitamin E on the oxidative stability of turkey meat during storage. Poult Sci. 1996. 75(8):1039-1046.
- Brown WD, Mebine LB. Autoxidation of oxymyoglobins. J. Biol. Chem. 1969. 244:6696-6701
- Carlsen CU, Moller, JKS, Skibsted LH. Heme-iron in lipid oxidation. Coordination Chemistry Reviews. 2005. 249:485-498
- Durand D., Gobert M. Gatellier P. Oxydation des lipides et des protéines des viandes au cours des processus de transformation : mécanismes, conséquences et prévention. 2012. Proceeding of the 14èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 13 et 14 novembre 2012 - Caen, pp. 9-16
- Gatellier P, Mercier Y, Rock E, Renerre M. Influence of dietary fat and vitamin E supplementation on free radical production and on lipid and protein oxidation in turkey muscle extracts. J Agric Food Chem. 2000. 48(5):1427-1433.
- Gatellier P, Santé-Lhoutellier V. Digestion study of proteins from cooked meat using an enzymatic microreactor. Meat Sci. 2009. 81(2):405-409.
- Govaris A, Botsoglou N, Papageorgiou G, Botsoglou E, Ambrosiadis I. Dietary versus post-mortem use of oregano oil and/or alpha-tocopherol in turkeys to inhibit development of lipid oxidation in meat during refrigerated storage. Int J Food Sci Nutr. 2004. 55(2):115-123.
- Kertesz D, Antonini E, Brunori M, Wyman J, Zito R. Studies on the equilibria and kinetics of the reactions of peroxidases with ligands. I. The reaction of ferropoxidases with carbon monoxide. Biochemistry. 1965. 4(12):2672-2676.
- Mercier Y, Gatellier P, Viau M, Remignon H, Renerre M. Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in Turkey meat during storage. Meat Sci. 1998. 48(3-4):301-318.
- Mercier Y, Gatellier P, Vincent A, Renerre M. Lipid and protein oxidation in microsomal fraction from turkeys: influence of dietary fat and vitamin E supplementation. Meat Sci. 2001. 58(2):125-134.
- Mercier Y, Gatellier P, Vincent A, Renerre M. Lipid and protein oxidation in microsomal fraction from turkeys: influence of dietary fat and vitamin E supplementation. Meat Sci. 200. 61(4):389-395.
- Monahan FJ, Crackel RL, Gray JI, Buckley DJ, Morrissey PA. Catalysis of lipid oxidation in muscle model systems by haem and inorganic iron. Meat Sci. 1993. 34(1):95-106.
- Renerre M, Poncet K, Mercier Y, Gatellier P, Métro B. Influence of dietary fat and vitamin E on antioxidant status of muscles of turkey. J Agric Food Chem. 1999. 47(1):237-244.



- Sante V, Le Pottier G, Astruc T, Mouchoniere M, Fernandez X. Effect of stunning current frequency on carcass downgrading and meat quality of turkey. Poult Sci. 2000. 79(8):1208-1214.
- Santé V., Bielicki G., Renerre M., Lacourt A. Post mortem evolution in the *pectoralis superficialis* muscle from two turkeys breeds. Relationship between pH and colour changes. 1991. Proceedings of the 37th I.C.M.S.T., Kulmbach, 1:465-468.
- Sárraga C, Carreras I, García Regueiro JA, Guàrdia MD, Guerrero L. Effects of alpha-tocopheryl acetate and beta-carotene dietary supplementation on the antioxidant enzymes, TBARS and sensory attributes of turkey meat. Br Poult Sci. 2006. 47(6):700-707.
- Shikama K, Sugawara Y. Autoxidation of native oxymyoglobin. Kinetic analysis of the pH profile. Eur J Biochem. 1978. 91(2):407-413.
- Stadtman ER. Metal ion-catalyzed oxidation of proteins: biochemical mechanism and biological consequences. Free Radic Biol Med. 1990. 9(4):315-325.
- Yan HJ, Lee EJ, Nam KC, Min BR, Ahn DU. Dietary functional ingredients: performance of animals and quality and storage stability of irradiated raw turkey breast. Poult Sci. 2006. 85(10):1829-1837.



ANNEXE 1 : Statistiques descriptives des facteurs quantitatifs étudiés

	Facteurs	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Données d'oxydation	Fréquence d'oxydation à J6 (%)	43	8,06	14,24	0,00	53,06
	Fréquence d'oxydation à J15 (%)	44	66,61	33,81	0,00	100,00
	Gravité d'oxydation à J6	35	0,13	0,21	0,00	0,83
	Gravité d'oxydation à J15	36	1,38	0,86	0,05	2,92
Données Elevage	Nombre d'animaux abattus	44	3040	1041	980	5358
	GMQ 8j avant abattage (g/jour)	44	101,85	33,49	12,50	175,00
	GMQ 15j avant abattage (g/jour)	44	118,91	30,21	70,33	213,33
	Age à l'abattage (jours)	44	110,98	21,81	81,00	151,00
	Poids vif (Kg)	37	11,55	4,40	6,24	20,95
	Temps de mise à jeun (heures)	22	14,723	5,923	5,500	32,000
Caractéristiques des abattoirs	vitesse de chaine d'abattage (nb d'animaux /h)	44	2442,52	599,50	1395,00	3500,00
	Temps accrochage avant narcose (min)	32	2,32	1,41	0,97	5,82
	Temps de narcose (min)	30	0,27	0,11	0,14	0,70
	Temps entre fin narcose et saignée (min)	33	0,27	0,20	0,07	0,86
	Temps de saignée (min)	44	3,09	0,86	2,03	5,38
	Température à l'accrochage (°C)	42	22,74	3,46	14,00	27,20
	Température narcose - saignée (°C)	33	23,93	2,75	17,60	27,70
Caractéristiques de l'aliment finition	Durée de distribution de l'aliment finition (jours)	23	16,00	9,83	1,00	39,00
	Taux de Protéine dans l'aliment finition (%)	23	17,92	1,18	16,09	20,20
	Valeur Energétique de l'aliment finition	22	3227,17	41,78	3128,87	3279,10
	Ratio protéine/énergie dans l'aliment finition	22	0,01	0,00	0,01	0,01
	Taux de Matière Grasse dans l'aliment finition	40	7,37	0,83	5,80	9,10
	Vitamine A dans l'aliment finition (UI/Kg)	35	7670,31	1431,32	5670,00	10000,00
	Vitamine E dans l'aliment finition (UI/Kg)	40	36,13	45,15	11,97	213,00
	Sélénium dans l'aliment finition (mg/Kg)	36	0,24	0,13	0,00	0,41



	Facteurs	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Caractérisation de la viande de dinde au niveau de l'atelier de découpe	Temps d'atteinte des 4°C des carcasses (minute)	25	428,92	241,88	95,00	855,00
	pH de la cuisse (muscle Iliotibialis)	44	6,14	0,17	5,73	6,52
	L* de la cuisse (luminance)	44	49,78	2,58	44,76	55,40
	a* de la cuisse (indice de rouge)	44	11,04	1,67	7,89	14,25
	b* de la cuisse (indice de jaune)	44	-2,52	0,80	-4,28	-1,00
	pH des découpes de cuisse (mélange de muscles)	44	6,28	0,16	5,93	6,55
Caractérisation biochimique des brochettes à J+1	Pourcentage de protéines	37	19,96	0,53	18,73	20,83
	Pourcentage de matière sèche	37	25,57	1,21	23,58	29,04
	Pourcentage de lipides	37	5,37	1,40	3,27	8,16
	TBA-RS (U.A.)	37	1,45	1,14	0,39	4,02
	Fer (µg/g) (brochettes)	37	6,59	1,26	4,12	9,34
	C14 (%) (brochettes)	37	0,69	0,10	0,49	0,89
	C14:1 (%)	37	0,07	0,03	0,03	0,16
	C16 (%)	37	23,56	2,88	18,42	29,01
	C16:1 (%)	37	2,16	0,62	1,13	3,58
	C18 (%)	37	7,76	0,75	6,06	9,86
	C18:1 (%)	37	31,67	3,04	23,91	40,44
	C18:2 (%)	37	28,75	4,24	20,25	38,10
	C18:3 (%)	37	2,73	1,12	0,94	6,44
	C20 (%)	37	0,14	0,04	0,05	0,25
	C20:1 (%)	37	0,27	0,09	0,14	0,61
	C20:4 n-6 (%)	37	1,67	0,51	0,80	3,23
	C20:5 n-3 (%)	37	0,09	0,04	0,04	0,22
	C22:4 n-6 (%)	37	0,10	0,06	0,04	0,39
	C22:5 n-3 (%)	37	0,23	0,08	0,07	0,42
	C22:6 n-3 (%)	37	0,11	0,05	0,04	0,28
	Quantité AGS (g)	37	1,71	0,42	1,06	2,67
	Quantité AGMIq (g)	37	1,85	0,57	1,07	2,83
	Quantité AGPIq (g)	37	1,81	0,55	0,98	3,43
	AG n-6 (%)	37	30,52	4,36	21,41	41,45
	AG n-3 (%)	37	3,16	1,19	1,24	7,28
	n-6/n-3	37	10,78	3,40	3,32	21,28
	Fe2+ (équival. µM FeSO4)	26	3,32	1,19	1,24	6,41
	Fe3+ (équival. µM FeSO4)	26	24,99	7,15	12,44	43,30
	Fer libre total (ppm)	26	1,59	0,37	1,03	2,36
	Glycogène (µmol/ g)	26	40,59	3,56	34,02	52,05
	Lactate (µmol/ g)	26	65,57	6,02	49,20	74,15
	Potentiel Glycolytique	26	146,74	11,65	117,23	172,55
	Oxygène (mg/ml)	26	10,54	0,78	8,20	11,35
	Lutéine (µg/g de tissu frais)	26	0,337	0,045	0,254	0,421
	Rétinol (µg/g de tissu frais)	26	0,094	0,013	0,072	0,129
	Alpha-tocophérol (µg/g de tissu frais)	26	3,643	0,973	2,485	6,611
	Gamma-tocophérol (µg/g de tissu frais)	26	2,083	0,225	1,510	2,414



