



# Oxydation des viandes de dindes

## Analyse des facteurs d'élevage qui conduisent à l'oxydation des brochettes de dinde

**Mots-clés :** Dinde, Oxydation, Qualité des produits, Biochimie, Volaille

**Auteurs :** Marie Bourin<sup>1</sup>, Elisabeth Baëza<sup>2</sup>, Amandine Mika<sup>1</sup>, Estelle Godet<sup>2</sup>, Pascal Chartrin<sup>2</sup>, Véronique Santé-Lhoutellier<sup>3</sup>, Cécile Berri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ITAVI, UMT BIRD, Unité de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, France ; <sup>2</sup> INRA, UMT BIRD, Unité de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, France ; <sup>3</sup> INRA, UR QUALité des Produits Animaux, 63122 Saint-Genès-Champagnelle, France.

\* E-mail de l'auteur correspondant : [bourin@itavi.asso.fr](mailto:bourin@itavi.asso.fr)

L'étude présentée ici, financée par FranceAgriMer et le CIDEF et parue dans la revue TEMA (n°37) a permis de mettre en évidence le caractère multifactoriel de l'oxydation des muscles rouges de la dinde. 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 de ce phénomène.

### Résumé :

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 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.

### Abstract: Rearing factors that lead to oxidation of turkey meat

The turkey industry is currently confronted with problems of oxidation, which result in the apparition of zones of discoloration of red meat products. This defect increases over time and leads to the systematic withdrawal of products. Yet, factors at the origin of these defects have not been clearly identified even if the generalized heaviness of animals could be an aggravating factor. Forty-four turkey flocks were considered in this study issued from four French slaughter plants. For every flock, various parameters related to the animal or its rearing system or meat traits were recorded. The occurrence and severity of oxidation defects were visually determined at days 6 and 15 post-mortem on 50 packages of four turkey skewers per flock. Samples of meat were also taken to determine several physico-chemical and biochemical traits: TBA-RS (lipid oxidation), haem iron, oxygen and lipid (LIM) contents and determination of fatty acid composition (saturated, AGS; mono-unsaturated, AGMI; polyunsaturated, AGPI; n-6/n-3). Our study highlights the multifactorial determinism of turkey muscle oxidation. Indeed, several factors related to the animal or its finishing diet or to physicochemical or biochemical meat traits play a role in the occurrence and severity of oxidation spots. According to our results, oxidation would be favored in males slaughtered at older ages whose daily average gain and fattening during the finishing period were increased and meat ultimate pH decreased. The production of acid and oxidized chicken breast meat has already been associated with physiological status favoring energy storage as lipids or muscle glycogen to the detriment of protein synthesis. Therefore, it can be suggested to reevaluate the energy and amino acid balance of the turkey finishing diets or reducing the age at slaughter to limit energy storage as lipid or glycogen in carcass or muscles.

## 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 TEC 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 grisaillement) qui s'intensifient au cours du stockage et entraîne le retrait systématique des

## 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

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 des 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.

Cette étude avait pour objectif d'identifier via des enquêtes 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 et a permis de hiérarchiser le rôle respectif des principaux facteurs identifiés grâce à une analyse statistique multifactorielle, pour ensuite proposer des itinéraires de production de dindes minimisant l'apparition des défauts.

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.

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) (Mercier et *al.*, 1998 ; Gatellier et *al.*, 2000). 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 ; Mercier et *al.*, 1998 ; Gatellier et *al.*, 2000 ; Yan et *al.*, 2006). Cette molécule liposoluble diminue surtout la production de radicaux libres et l'oxydation des lipides et dans une moindre mesure celles des protéines (Mercier et *al.*, 1998 ; Gatellier et *al.*, 2000). 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 rencontrés chez la dinde. 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 (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 déterminer des conditions physico-chimiques (T°, pH) et biochimiques (quantité de sang ou de glycogène résiduel dans le 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.

## I. ENQUETES EN ABATTOIRS DE DINDES

### I.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

### I.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 informations sur l'aliment finition distribué

### I.3. Données relevées en abattoir

Lors du suivi des lots, plusieurs mesures ont été réalisées en abattoir : mesures d'ambiance (températures à différents

### I.4. Caractérisation physico-chimique et biochimique de la viande

#### I.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\*), indice de jaune (b\*)) et de pH ultime (pHu) ont été réalisées sur le muscle *Iliotibialis* de 8 cuisses par lot.

#### I.4.2. Analyse biochimique et microbiologique

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 (Vitamine A,  $\mu\text{g/g}$  de tissu frais), d'alpha et gamma-tocophérol (Vitamine E,  $\mu\text{g/g}$  de tissu frais) et le potentiel glycolytique du muscle ont aussi été mesurés. L'indice

(sur les périodes estivales uniquement). Sur ces lots, plusieurs données ont été recueillies ou mesurées.

ont également été renseignées : temps de distribution de l'aliment, taux de protéines et de matière grasse, valeur énergétique, taux d'acide linoléique et linoléique, teneurs en vitamines A et E et en sélénium, durée de mise à jeun avant abattage.

endroits de la chaîne d'abattage), chronométrage du temps d'accrochage et des temps entre narcose et fin de saignée.

Quatre-vingt-dix autres mesures de pHu ont également été prises sur les découpes de cuisses (mélange de muscles) issues de ces mêmes lots.

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*.

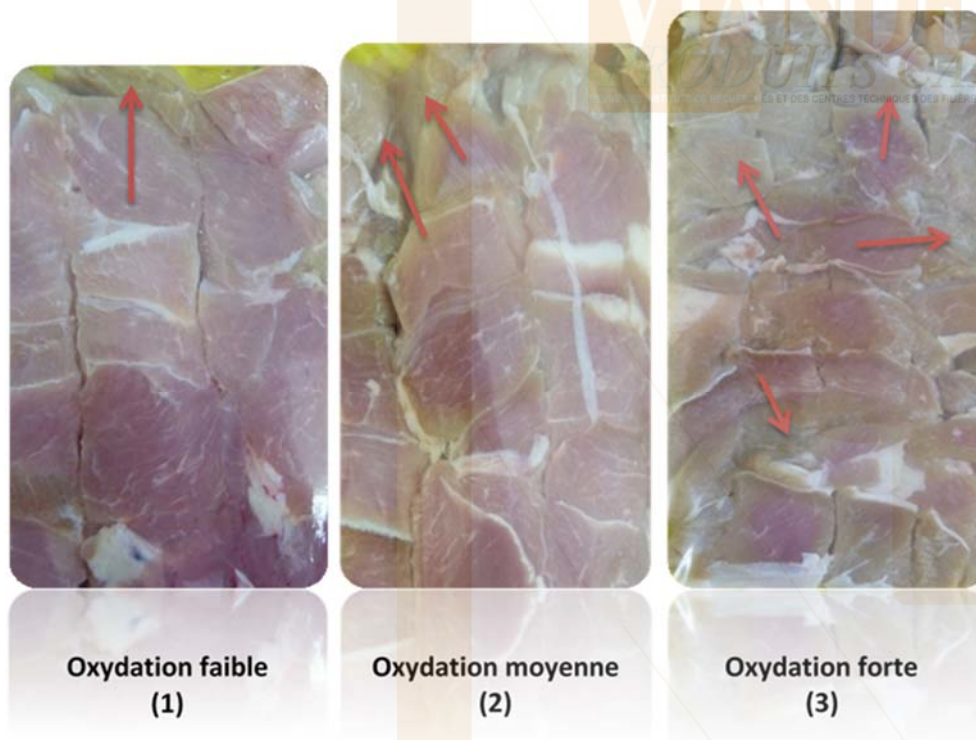
### I.5. Evaluation de la fréquence d'apparition et de la gravité des zones d'oxydation

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'O<sub>2</sub> et 30% de CO<sub>2</sub>. 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 (conditions correspondant à un test de vieillissement classique).

L'observation de l'apparition du phénomène d'oxydation a été réalisée visuellement à J+6 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.

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



### I.6. Analyses statistiques

La distribution des facteurs de variation a été analysée afin de définir des classes. Une analyse de variance (ANOVA) a ensuite été réalisée 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 ou à l'alimentation, des facteurs d'aval liés aux conditions d'abattage, et des facteurs liés aux caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la viande ont été testés au risque de 5% pour la fréquence et la gravité de l'oxydation à J6 et J15.

## II. RESULTATS ET DISCUSSION

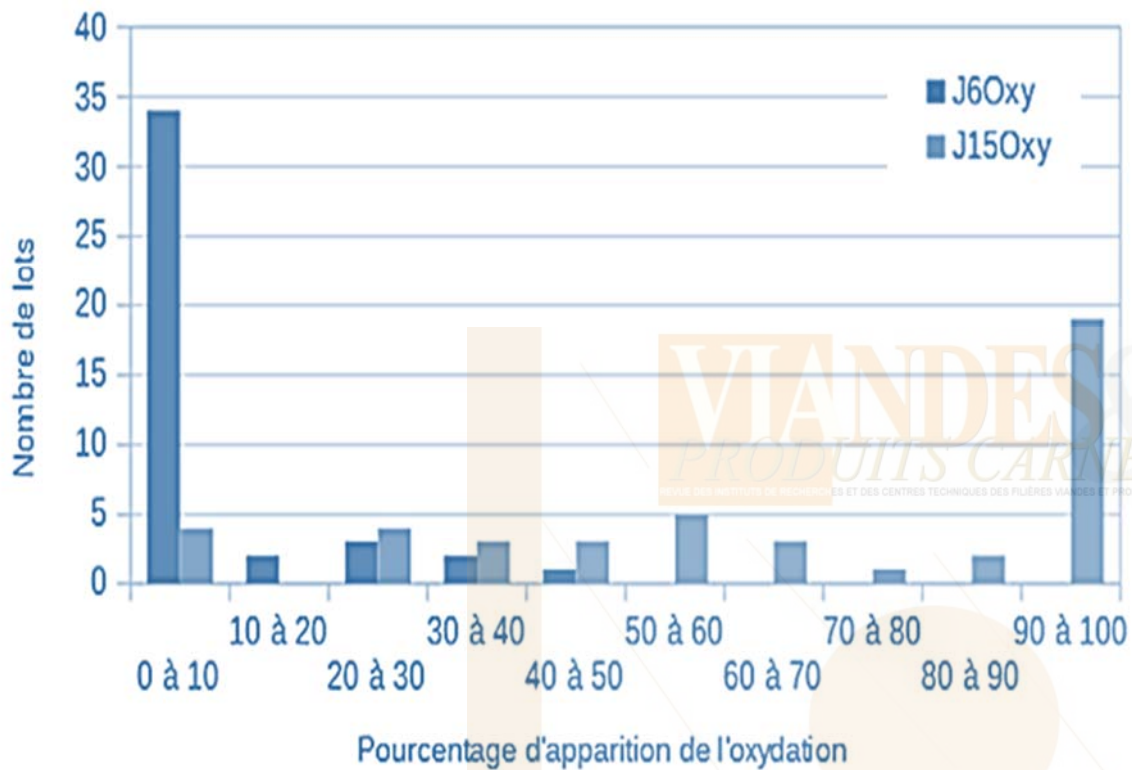
### II.1. Fréquence et gravité d'oxydation à J6 et J15

Le suivi de l'apparition des défauts sur les brochettes a été réalisé au sein des laboratoires de l'INRA, Centre Val de Loire (Nouzilly, France).

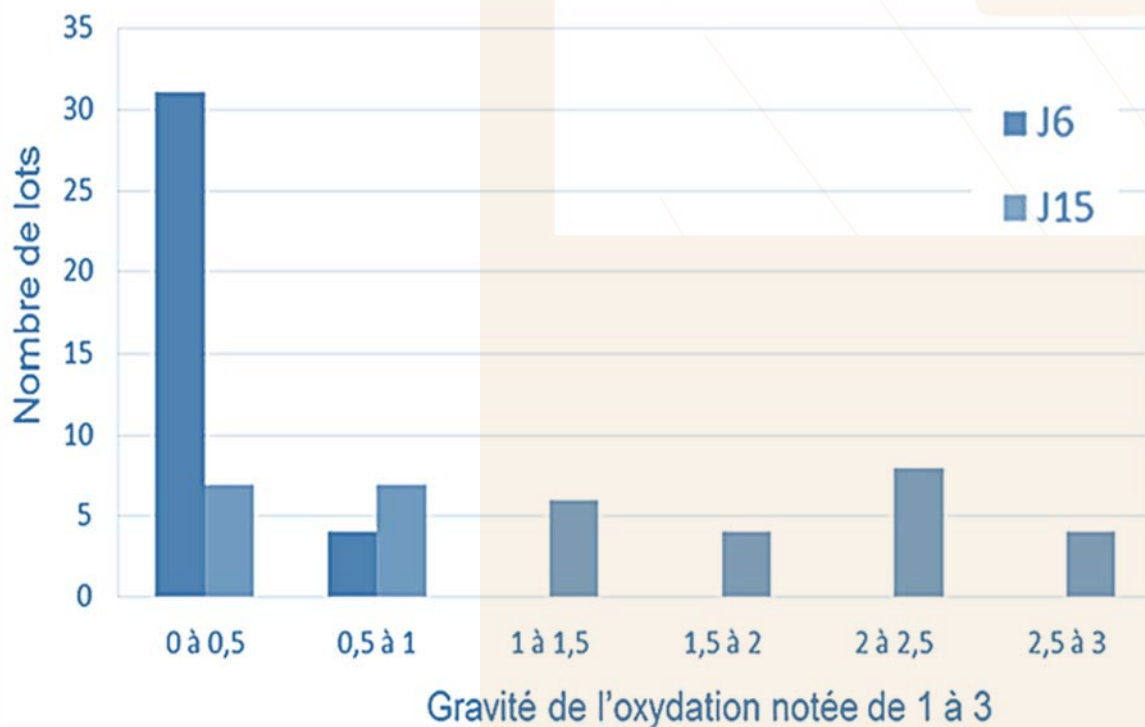
Il a été observé qu'à J6 apparaissaient les premiers défauts d'oxydation. Ces défauts s'accroissaient au cours du temps (Figure 2 et 3) :

- 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 terme de 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 terme de gravité

**Figure 2 :** Nombre de lots par niveau d'oxydation (% de barquettes oxydées au sein d'un lot) à J6 (*bleu foncé*) et J15 (*bleu clair*)



**Figure 3 :** Nombre de lots par niveau de gravité 'oxydation notée sur une échelle de 0 (pas d'oxydation) à 3 (barquette fortement oxydée) à J6 (*bleu foncé*) et J15 (*bleu clair*)



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 J15, la proportion des lots touchés a considérablement augmenté pour atteindre 91 % alors que la gravité du phénomène

d'oxydation s'amplifie allant jusqu'à 2,9 / 3 pour les cas les plus graves. 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.

## II.2. Facteurs aggravant le phénomène d'oxydation

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 ANOVA et en composante principale (ACP).

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 1. L'ANOVA a permis de confirmer les résultats de l'analyse en composante principale.

Les paramètres liés à l'animal (sexe, poids, 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 de plus de 130 jours et dont le GMQ dans les 15 derniers jours est supérieur à 110 g/jour et ayant un poids vif à l'abattage supérieur à 10,5 kg.

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 (Tableau 1). Ainsi, l'augmentation de la durée de distribution favorise l'initiation et l'amplification de l'oxydation au cours du temps et amplifie d'autant le phénomène pour des distributions allant au-delà de 15 jours. Des teneurs en matière grasse supérieures à 7,9 % 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 (> 50 UI/Kg) 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 (Tableau 1) tel que le pHu qui lorsqu'il est en moyenne inférieur à 6,1, 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). Par ailleurs, une forte teneur en fer héminique et de faibles pourcentages en acides gras C18:0 et C22:6 n-3 et en oxygène semblent également favoriser l'apparition du phénomène d'oxydation. 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 mesurées sur la même viande avec une aggravation du phénomène d'oxydation pour des valeurs de TBA-RS supérieures à 1,5.

L'intensification de la couleur de la viande dans le rouge ( $a^* > 12$ ) et la quantité de fer héminique ( $\text{Fer} > 7 \mu\text{g/g}$ ), qui sont liés ( $r$  de +0,73), sont aussi impliqués dans l'aggravation du phénomène d'oxydation au cours du stockage (Tableau 1). 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).

L'intensification de la couleur de la viande dans le jaune ( $b^*$ ) est liée à l'amplification de l'oxydation (Tableau 1). L'indice  $b^*$  peut être une estimation du gras intramusculaire, la proportion en matière grasse étant corrélée à l'oxydation de la viande (Durand *et al.*, 2012). 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.

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 accru des animaux. 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.

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 2).

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  $2 \times 10^7$  UFC) qui sont des flores d'altération. Aucune relation entre ces contaminations et le niveau d'oxydation de ces lots n'a été mise en évidence.

**Tableau 1 : Statistiques descriptives et corrélations entre les facteurs de variation et la fréquence d'apparition et la sévérité de l'oxydation mesurées à J+6 et J+15 post-mortem**

Facteurs		Statistiques descriptives				Oxydation à J+6		Oxydation à J+15	
		Moyenne	Ecart-type	Mini	Maxi	Fréquence	Gravité	Fréquence	Gravité
						Corrélations (R) avec l'oxydation			
<b>Données d'oxydation</b>	Fréquence d'oxydation à J6 (%)	8	14	0	53	/	/	/	/
	Fréquence d'oxydation à J15 (%)	67	34	0	100	/	/	/	/
	Gravité d'oxydation à J6 (0 à 3)	0,13	0,21	0	0,83	/	/	/	/
	Gravité d'oxydation à J15 (0 à 3)	1,38	0,86	0,05	2,92	/	/	/	/
<b>Données d'élevage</b>	GMQ* 8j avant abattage (g/jour)	102	33	12	175	-	-	<b>0,38</b>	-
	GMQ* 15j avant abattage (g/jour)	119	30	70	213	-	<b>0,38</b>	-	-
	Age à l'abattage (jours)	111	22	81	151	<b>0,42</b>	<b>0,37</b>	-	-
	Poids vif (Kg)	11,5	4,4	6,2	20,9	<b>0,34</b>	-	-	-
<b>Caractéristiques de l'aliment finition</b>	Durée de distribution (jours)	16	10	1	39	<b>0,45</b>	-	-	-
	Taux de Matière Grasse	7,4	0,8	5,8	9,1	<b>0,32</b>	-	-	-
<b>Caractéristiques de la viande</b>	Indice de rouge (a*), cuisse	11,0	1,7	7,9	14,2	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>	<b>0,36</b>	<b>0,44</b>
	pH, mélange de muscles	6,28	0,16	5,93	6,55	<b>-0,33</b>	-	-	-
	TBA-RS (UA), brochettes	1,45	1,14	0,39	4,02	<b>0,45</b>	-	-	-
	Fer (µg/g), brochettes	6,59	1,26	4,12	9,34	<b>0,42</b>	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	<b>0,42</b>
	Quantité AGS* (g), brochettes	1,71	0,42	1,06	2,67	-	-	<b>0,39</b>	-
	AG* n-3 (%), brochettes	3,16	1,19	1,24	7,28	-	-	<b>-0,40</b>	-
	AG* n-6/ AG* n-3, brochettes	10,78	3,4	3,32	21,28	-	-	<b>0,40</b>	-
	Oxygène (mg/ml), brochettes	10,54	0,78	8,2	11,35	<b>-0,42</b>	<b>-0,60</b>	-	-

\*GMQ : Gain Moyen Quotidien ; AG : Acide Gras

**Tableau 2 : Facteurs liés au sexe de l'animal**

Variables	Femelles			Mâles			Valeur de P	
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type		
Paramètres d'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
Paramètres liés à l'animal et aux caractéristiques 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	<0,0001
	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
Caractéristiques de l'alimentation finition	Durée (min) de refroidissement de la carcasse (4°C)	13	333,46	217,46	12	532,33	242,78	0,041
	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	



## 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 cuisson. 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.

### Remerciements :

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

### Références :

- Ahn DU, Kim SM (1998). Effect of superoxide and superoxide-generating systems on the prooxidant effect of iron in oil emulsion and raw turkey homogenates. *Poult Science*, 77, 9, 1428-1435.
- Ahn DU, Sell JL, Jo C, Chen X, Wu C, Lee JI (1998). Effects of dietary vitamin E supplementation on lipid oxidation and volatile content of irradiated, cooked turkey meat patties with different packaging. *Poult Science*, 77, 6, 912-920.
- Bartov I, Kanner J (1996). Effect of high levels of dietary iron, iron injection, and dietary vitamin E on the oxidative stability of turkey meat during storage. *Poult Science*, 75, 8, 1039-1046.
- Brown WD, Mebine LB (1969). Autoxidation of oxymyoglobins. *J. Biol. Chem.*, 244, 6696-6701.
- Carlsen CU, Moller, JKS, Skibsted LH (2005). Heme-iron in lipid oxidation. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 485-498.
- Durand D, Gobert M, Gatellier P (2012). Oxydation des lipides et des protéines des viandes au cours des processus de transformation : mécanismes, conséquences et prévention. *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 (2000). 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.*, 48, 5, 1427-1433.
- Gatellier P, Santé-Lhoutellier V (2009). Digestion study of proteins from cooked meat using an enzymatic microreactor. *Meat Science*, 81, 2, 405-409.
- Govaris A, Botsoglou N, Papageorgiou G, Botsoglou E, Ambrosiadis I (2004). 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.*, 55, 2, 115-123.
- Mercier Y, Gatellier P, Viau M, Remignon H, Renerre M (1998). Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in Turkey meat during storage. *Meat Science*, 48, 3-4, 301-318.
- Mercier Y, Gatellier P, Vincent A, Renerre M (2001). Lipid and protein oxidation in microsomal fraction from turkeys: influence of dietary fat and vitamin E supplementation. *Meat Science*, 58, 2, 125-134.
- Monahan FJ, Crackel RL, Gray JI, Buckley DJ, Morrissey PA (1993). Catalysis of lipid oxidation in muscle model systems by haem and inorganic iron. *Meat Science*, 34, 1, 95-106.
- Renerre M, Poncet K, Mercier Y, Gatellier P, Métro B (1999). Influence of dietary fat and vitamin E on antioxidant status of muscles of turkey. *J Agric Food Chem.*, 47, 1, 237-244.

Sárraga C, Carreras I, García Regueiro JA, Guàrdia MD, Guerrero L (2006). Effects of alpha-tocopheryl acetate and beta-carotene dietary supplementation on the antioxidant enzymes, TBARS and sensory attributes of turkey meat. *Br Poult Sci.*, 47, 6, 700-707.

Shikama K, Sugawara Y (1978). Autoxidation of native oxymyoglobin. Kinetic analysis of the pH profile. *Eur J Biochem.*, 91, 2, 407-413.

