

Réduction des nitrates, nitrites dans les produits carnés: quelles conséquences? Quelles solutions?

Talon R. ¹, Leroy S. ¹, Vermassen A. ¹, Christieans S. ²

¹ INRA, UR 454 Microbiologie, Centre Auvergne-Rhône Alpes, F-63122 Saint-Genès Champanelle

² ADIV, ZAC des Gravanches, 10 rue Jacqueline Auriol, F-63039 Clermont-Ferrand Cedex 2

Correspondance : regine.talon@clermont.inra.fr

Résumé

Le nitrite et le nitrate sont couramment utilisés comme additifs dans les produits carnés transformés. L'utilisation de ces additifs est strictement réglementée par des directives européennes. Le nitrite est un composé toxique à fortes doses alors que la toxicité du nitrate est due à sa réduction en nitrite. Les nitrites aux doses autorisées ont un large spectre d'action contribuant au développement de la couleur et de la flaveur et à la sécurité microbiologique des produits. Une réflexion est en cours à la Commission Européenne pour diminuer les doses d'utilisation de ces additifs. Des solutions plus ou moins alternatives et plus ou moins efficaces sont mises en œuvre ou proposées pour anticiper cette baisse potentielle. Actuellement, il n'existe pas de composés capables de remplacer le nitrite dans toutes ses fonctions mais leur addition permet de réduire les quantités de nitrate/nitrite ajoutées. Quoiqu'il en soit, l'utilisation de nitrate/nitrite dans la fabrication des charcuteries reste controversée même si dans le même temps, plusieurs études soulignent le bénéfice pour la santé humaine de consommer à dose modérée du nitrate/nitrite.

Mots-clés : Produits carnés, nitrate, nitrite, bactéries, alternatives

Abstract: Reduction of nitrate, nitrite in meat products: which consequences? which solutions?

Nitrite and nitrate are used as additives in the manufacturing of cured meat products. The use of these additives is regulated by European directives. Nitrite can be toxic while the toxicity of nitrate is due to its reduction to nitrite. However nitrite has multiple functions, it contributes to the sensorial qualities (colour, flavour) and to the inhibition of some microorganisms. The European Commission is still asking to decrease the level of these additives. Currently, no substance is able to replace the nitrite in all of its functions. Some compounds make it possible to maintain the sensorial or the hygienic qualities of cured meat products. These compounds together with reduced level of nitrite could be an alternative. The use of nitrite is still controversial. However some recent studies highlighted the health benefit of the consumption of nitrate/nitrite.

Keywords: Cured meat, nitrate, nitrite, bacteria, alternatives

Introduction

De nombreux aliments contiennent du nitrate et dans une moindre mesure du nitrite. L'apport moyen de nitrate en France via l'alimentation est de 141 mg par jour par personne dont 75% est apporté par les légumes et fruits, 14% par l'eau, et 6% par les produits d'origine animale. Celui de nitrite est de 2 mg/jour/personne dont 40% est attribué aux légumes et fruits, 39% aux produits transformés d'origine animale, 15% à d'autres aliments et 5% à l'eau (EFSA, 2008).

Le nitrite et le nitrate sont couramment utilisés comme additifs dans la fabrication de produits carnés, tels que les produits de charcuterie et de salaison. Le nitrite ajouté ou provenant de la réduction du nitrate est la molécule active. Son spectre d'action est très large. Il contribue aux propriétés sensorielles (couleur, flaveur) et à la préservation de la sécurité microbiologique des produits saumurés, notamment vis-à-vis des bactéries sporulées.

L'utilisation du nitrite et du nitrate est réglementée par la directive européenne 95/2/EC, celle de 2006/52/EC et celle de 2011 (N°1129 du 11 novembre 2011). D'après ces directives, l'ajout de 100 à 150 mg de nitrite par kg est autorisé pour les viandes transformées traitées thermiquement et de 150 mg de nitrite avec 150 mg de nitrate par kg pour celles non traitées thermiquement. Ces réglementations ont été fixées sur la base de la toxicité du nitrite alors que la toxicité du nitrate est estimée à partir de sa réduction en nitrite. A titre de comparaison, la teneur moyenne d'une laitue en nitrate est de 4000 mg/kg. Une dose journalière admissible (DJA) a été établie à 3,7 mg/kg de poids corporel pour le nitrate et à 0,07 mg/kg pour le nitrite (EFSA, 2010). La toxicité du nitrite est due à sa capacité à former potentiellement des substances carcinogènes appelées nitrosamines, à la fois dans les aliments et dans notre organisme (Hammes, 2012). La quantité résiduelle de nitrite et/ou nitrate dans du saucisson ou du jambon cuit est inférieure à 20 mg/kg. Ainsi la probabilité de former des nitrosamines est faible dans les produits carnés étant donné ces concentrations résiduelles (Honikel, 2008). Ces composés peuvent toutefois être générés quand les produits carnés sont traités thermiquement à des températures excédant 130°C (Honikel, 2008). Cette condition peut par exemple se produire quand nous faisons griller du bacon.

Vu le risque potentiel lié au nitrite, la commission européenne est en cours de réflexion pour diminuer les doses d'utilisation du nitrite et/ou du nitrate dans certains aliments dont les produits carnés. Les principaux risques liés à la diminution ou à la suppression du nitrite dans la fabrication de produits de charcuterie ou de salaison cités par les professionnels sont le développement de microorganismes indésirables, une réduction d'environ un tiers de la durée de vie, une couleur grisâtre au lieu d'une couleur rose ou rouge stable, et une perte du goût caractéristique de ces produits. De nombreuses questions sur le devenir de ces produits restent donc sans réponse pour les professionnels. De plus, cette réduction est-elle compatible avec la diminution concomitante de sel que les professionnels doivent assurer pour la santé des consommateurs? Comment peuvent-ils pallier ces réductions tout en préservant la sécurité sanitaire mais aussi les qualités sensorielles de ces produits ?

Actuellement, à notre connaissance, il n'existe pas de composés capables de remplacer le nitrite dans toutes ses fonctions, mais des alternatives plus ou moins efficaces sont mises en œuvre ou testées.

1. Utilisation d'extraits de plantes naturellement riches en nitrate, une alternative ?

Pour éviter d'ajouter du nitrate comme additif tout en assurant les propriétés sensorielles et microbiologiques des produits carnés, des extraits de plantes contenant de façon naturelle du nitrate ont été testés. Comme rapporté par Sebranek et Bacus (2007), des épices ou du jus de céleri pourraient être une alternative. Ces auteurs mentionnent que la concentration en nitrate d'une poudre provenant d'un jus concentré de céleri est élevée (2,75 %) et que son addition dans une mûlée en vue de la fabrication de saucissons résulte en une concentration en nitrite de 100 mg/kg. Les produits fabriqués par ces nouvelles pratiques sont catégorisés sous le terme « clean label food ». Ce nitrate ajouté de façon « naturelle » doit être réduit en nitrite, ce qui est possible via l'action des ferments ayant une activité nitrate réductase tels que les espèces *Staphylococcus carnosus* et *Staphylococcus xylosus*. L'addition de nitrate « naturel » à des produits carnés cuits nécessite aussi l'addition de ferments réduisant le nitrate en nitrite pour le développement de la couleur et a ainsi entraîné des modifications de procédé, en particulier la température est maintenue 90 min à 42°C avant la procédure habituelle de fabrication de ces produits (Sebranek et Bacus, 2007). L'addition d'extraits de plantes avec un ferment

de type staphylocoque dans des saumures permet d'obtenir du jambon cuit avec une couleur et un contrôle de l'oxydation des lipides similaires à celui traité avec des nitrites tout en ayant des taux résiduels plus faibles (Krause *et al.*, 2011). Le Comité Permanent de la Chaîne Alimentaire et de la Santé Animale (CASA) considère que lorsqu'il y a adjonction de ferment en présence d'extraits de plantes riches en nitrate, le nitrite obtenu grâce à l'activité enzymatique de ce ferment est alors à considérer comme un additif. Or, l'utilisation d'additif doit faire l'objet d'une autorisation. Par ailleurs, des extraits naturels de cerise qui contiennent des taux importants d'acide ascorbique peuvent être ajoutés à la place de l'acide lui-même pour faciliter la conversion du nitrite en monoxyde d'azote (Pegg et Honikel, 2015). L'utilisation d'extraits de plantes riches en nitrate et non de nitrate comme additif peut ainsi apparaître comme une alternative. Cependant, ce n'est en fait qu'une « pseudo solution » puisque le risque lié à au résidu de nitrite est le même.

2. Rôle des nitrates/nitrites dans la couleur

2.1 Formation de la couleur

La formation de la couleur est le résultat de la réduction du nitrate en nitrite *via* l'activité nitrate réductase des staphylocoques à coagulase négative (SCN) entrant dans la composition des ferments mais aussi de nombreuses réactions chimiques du nitrite avec les pigments de la viande (Talon *et al.*, 1999 ; Honikel, 2008). Ainsi, ces réactions enzymatiques et chimiques dépendent du pH, de la concentration en pigment de la matière première, du potentiel redox et de la température au cours du procédé.

Une grande variabilité est notée dans l'activité nitrate réductase des deux espèces *S. carnosus* et *S. xylosus* couramment utilisées comme ferment (Gotterup *et al.*, 2008 ; Sanchez Mainar et Leroy, 2015). La majorité des souches de *S. carnosus* réduit efficacement le nitrate alors que, pour *S. xylosus*, moins de 50% des souches le réduisent efficacement.

Le nitrite *via* différentes réactions chimiques va conduire à la formation de divers dérivés dont le monoxyde d'azote (NO). Le NO formé se lie au fer du noyau hémique de la myoglobine, pour former la nitrosomyoglobine, un composé stable et rouge, responsable de la couleur typique des salaisons (Honikel, 2008). Diverses études ont conclu que des doses entre 25 et 50 mg/kg de nitrite sont en général suffisantes pour obtenir une couleur satisfaisante dans la majorité des produits saumurés (Sindelar et Milkowki, 2011). Cependant, des doses supérieures sont nécessaires pour développer et maintenir la couleur typique dans le cas des produits saumurés à longue durée de vie.

2.2 Alternatives

2.2.1 Addition de colorants naturels

Des fabrications de mée ont été réalisées en ajoutant des extraits de tomate ou du paprika comme colorants naturels en supplément à des taux de nitrite réduits (100 mg au lieu de 150 mg/kg dans le témoin) (Bazan Lugo *et al.*, 2012). L'addition d'extrait de tomate (2,5-3,0%) permet d'obtenir une couleur proche de celle du témoin confirmant la possibilité de réduire le taux de nitrite sans affecter la couleur. De même, Deda *et al.* (2007) ont montré que le taux de nitrite dans des saucisses de Francfort peut être réduit de 150 mg/kg à 100 mg/kg en présence de 12% d'extrait de tomate en conservant la couleur des produits.

2.2.2 Addition de bactéries

Les bactéries lactiques, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum* et *Pediococcus acidilactici* et le staphylocoque *S. xylosus* sont capables de produire de la nitrosylmyoglobine dans un milieu de culture de laboratoire supplémenté avec de la metmyoglobine (Gundogdu *et al.*, 2006 ; Morita *et al.*, 1998). Cette propriété a été mise en évidence chez six autres espèces de SCN (Gotterup *et al.*, 2007). Récemment, la formation de nitrosylmyoglobine par *S. xylosus* a été mise en évidence dans de la

mêlée (Li *et al.*, 2013). Cependant, le mécanisme de production du NO reste actuellement inconnu. Les bactéries pourraient produire du NO à partir de l'arginine *via* la nitrique oxyde synthase (NOS) (Crane *et al.*, 2010). Jusqu'à présent, le gène *nos* codant cette enzyme n'est présent dans aucun des génomes des bactéries lactiques alors qu'il a été identifié chez diverses espèces de SCN dont les deux espèces utilisées comme ferments, *S. carnosus* et *S. xylosus* (Jansens *et al.*, 2014). La production de NO *via* la NOS est une piste qui reste à explorer chez les SCN.

3. Rôle des nitrates/nitrites dans la flaveur

3.1 Développement de la flaveur, rôle antioxydant

Diverses études sensorielles ont révélé que des jurys de consommateurs sont capables de distinguer des produits fabriqués avec différentes quantités de nitrite (Sindelar et Milkowski, 2011). En absence de nitrites, les produits présentent un goût qualifié de viande alors qu'ils ont un goût typique de salaison quand ils ont été fabriqués en présence de nitrite. Des quantités de l'ordre de 50 mg/kg seraient suffisantes pour induire des différences perçues par un jury (Gray *et al.*, 1981). De même, Pegg et Shahidi (2000) rapportent qu'une incorporation de 40 à 70 mg/kg de nitrite est nécessaire pour assurer le développement de l'arôme caractéristique des salaisons.

Malgré cette perception sensorielle avérée, les molécules responsables de cette flaveur caractéristique ainsi que les mécanismes impliqués sont largement méconnus. Des composés sapides sont formés à partir de l'interaction du nitrite et/ou du monoxyde d'azote avec différents composants de la viande qui génère des composés nitrés ou nitrosés. Le pourcentage de nitrite ou dérivé lié aux groupements thiols (SH) ou aux lipides est de 1 à 15% et celui lié aux protéines est de 20 à 30% (Honikel, 2008). Le nitrite et/ou du NO a aussi un rôle antioxydant (Sindelar et Milkowski, 2011). Le NO en protégeant le fer de la myoglobine de l'oxydation, l'empêche de passer à des valences où il devient un oxydant puissant capable de peroxyder les lipides. De plus, le NO peut chelater des radicaux libres et les composés nitrosés ont aussi des propriétés antioxydantes (Sindelar et Milkowski, 2011 ; Sebranek et Bacus, 2007).

Une étude réalisée sur du jambon cuit avec ou sans nitrite a montré que le nombre de composés « odorants » est supérieure dans le jambon avec nitrite, 49 contre 37 sur un total de 53 composés (Guillard, 1998). En particulier, les composés issus de l'oxydation des lipides sont en quantités inférieures dans l'échantillon traité. De même, la concentration en composés volatils associés à l'oxydation des lipides est inférieure dans des saucissons fabriqués avec un mélange de nitrate/nitrite à celle de saucissons témoins sans nitrate/nitrite (Hospital *et al.*, 2012). Cet effet antioxydant est noté dès 75 mg/kg de nitrate et 75 mg/kg de nitrite dans des saucissons secs. A noter que le pouvoir antioxydant d'un mélange de nitrate/nitrite est bien supérieur à celui du nitrate seul (ADIV-FICT, 2014). Dans une autre étude, une quantité de 20 mg/kg de nitrite s'est révélée suffisante pour inhiber l'oxydation des lipides du poisson, du poulet, du porc et du bœuf (Sindelar et Milkowski, 2011).

3.2 Alternatives

Une littérature abondante concerne les antioxydants testés dans les produits carnés (Weiss *et al.*, 2010). Certains comme la vitamine E, le lycopène, l'acide ascorbique et des extraits de romarin, organ, ou sauge sont actifs par leur capacité à piéger ou stabiliser les radicaux libres à l'origine des réactions d'oxydation, d'autres comme le citrate ou les polyphénols jouent le rôle de chélateurs qui lient par exemple les métaux qui initient l'oxydation. A titre d'exemple, un extrait de romarin ajouté à des pâtés de foie permet de réduire la quantité de nitrite à 80 mg/kg au lieu de 150 mg/kg (Doolaege *et al.*, 2012). Récemment, une étude menée par l'ADIV dans le cadre d'un projet FranceAgrimer a mis en évidence que l'association de romarin (E392) et 60 mg/kg de nitrite permet une préservation de la couleur et de la flaveur du jambon cuit (ADIV-FranceAgrimer, 2013).

4. Rôle des nitrates/nitrites dans les qualités microbiologiques

Le nitrite est la molécule active impliquée dans les inhibitions des diverses populations bactériennes. Le nitrate joue un rôle de réservoir de nitrite. Les mécanismes responsables de l'inhibition sont encore méconnus et dépendent des espèces bactériennes. De plus, ce pouvoir inhibiteur est dépendant de facteurs tels que le pH, la concentration en sel, la présence d'agents réducteurs tel que l'ascorbate et le contenu en fer (Sindelar et Milkowski, 2011). Ainsi le nitrite est plus inhibiteur à pH acide (cas de la viande), probablement en relation avec les diverses réactions chimiques conduisant à du monoxyde d'azote et des acides nitreux et nitriques (Honikel, 2008). A noter que le pouvoir inhibiteur peut être également influencé par la présence de fer qui se lie au nitrite et l'inactive. Ainsi, la présence de foie dans certains produits de charcuterie peut inhiber l'action du nitrite en raison de la présence importante de fer (EFSA, 2003).

Nous allons passer en revue le rôle des nitrates/nitrites sur les différentes populations bactériennes à savoir les ferments, les bactéries d'altération et les bactéries pathogènes.

4.1 Croissance, survie et activité des ferments

Des ferments bactériens composés d'un mélange de bactéries lactiques et de staphylocoques sont ajoutés lors de la fabrication des saucissons secs. L'écologie microbienne des saucissons est tributaire de nombreux facteurs endogènes tels que la composition de la matière première, sa qualité initiale (pH, aw, charge microbienne), le sel, les glucides, épices, additifs (nitrate, nitrite), les ferments ajoutés, les boyaux, le diamètre d'embossage, de facteurs exogènes (température, humidité) et des facteurs implicites (interactions microbiennes) (Hammes, 2012).

En règle générale, la croissance et la survie dans les saucissons des bactéries lactiques ajoutées comme ferments ne sont pas affectées par les différentes concentrations de nitrate et/ou de nitrite utilisées. Ainsi, les populations de *Lactobacillus sakei* seul ou en présence de *Pediococcus pentosaceus* augmentent de plus de 2,5 log puis elles restent stables dans des saucissons secs fabriqués avec différentes concentrations de nitrate (150-300 mg/kg) ou de nitrite (150 mg/kg) ou d'un mélange des deux (80/80 mg/kg, 120/120 mg/kg) (Marco *et al.*, 2006 ; ADIV-FranceAgrimer, 2013). *Lactobacillus plantarum* croit et survit de la même façon en absence ou en présence de mélanges de nitrate/nitrite (150/150; 112,5/112,5; 75/75 mg/kg) dans des saucissons secs (Hospital *et al.*, 2012 ; Hospital *et al.*, 2014).

La survie des deux staphylocoques utilisés comme ferments (*S. xylosus*, *S. carnosus*) est modifiée par la présence de nitrate et/ou de nitrite. La survie des deux espèces en mélange est supérieure dans un saucisson fabriqué sans nitrate/nitrite ou avec un mélange 75/75 mg/kg de nitrate/nitrite à celle en présence de quantités supérieures (Hospital *et al.*, 2012 ; Hospital *et al.*, 2014).

Très peu d'études se sont intéressées à l'impact de ces composés sur la physiologie des ferments. L'absence ou une trop faible quantité de composés nitrosés favorise la formation des composés volatils issus de la dégradation des glucides ou des acides aminés (Hospital *et al.*, 2012). Cette observation peut être reliée avec les résultats montrant l'impact de ces composés nitrosés sur la survie des staphylocoques (Hospital *et al.*, 2014). Récemment, la physiologie d'une souche de *S. xylosus* a été comparée dans une matrice viande modèle en présence ou en absence de nitrate/nitrite par une approche de transcriptomique (Vermassen *et al.*, 2014). La souche a une croissance identique dans la matrice viande qu'il y ait ou non du nitrate/nitrite. Elle interagit avec les composés nitrosés en modulant 24% de son génome ce qui traduit une modification importante de sa physiologie en présence de nitrate/nitrite. Notamment, ces composés génèrent sur la souche un stress nitrosant et elle répond à ce stress par la surexpression de gènes impliqués dans l'homéostasie du fer et la surexpression de gènes codant des enzymes antioxydants (Vermassen *et al.*, 2014).

4.2 Croissance, survie des bactéries d'altération

La population des *Enterobacteriaceae* est affectée par la présence de nitrate/nitrite dans des saucissons secs (Hospital *et al.*, 2012). Leur numération décroît dès la phase d'étuvage dans les saucissons fabriqués avec des mélanges de 150/150 ou 112,5/112,5 mg/kg de nitrate/nitrite et ces bactéries sont complètement éliminées pendant le séchage en présence des plus fortes concentrations. Dans le témoin ou dans le saucisson fabriqué avec un mélange 75/75 mg/kg de nitrate/nitrite, les *Enterobacteriaceae* se multiplient pendant la phase d'étuvage pour diminuer ensuite, une diminution plus rapide est notée pour l'échantillon avec nitrate/nitrite que sans (Hospital *et al.*, 2012). De façon similaire, il a été montré que la croissance de *Brochothrix thermosphacta*, bactérie bien connue pour son pouvoir d'altération, dans de la viande de porc hachée stockée à 10°C sous vide pendant 12 jours est freinée par la présence d'un mélange de nitrate/nitrite par rapport à un témoin (Hospital *et al.*, 2014).

4.3 Inhibition des bactéries pathogènes

De nombreuses études ont montré l'intérêt du nitrite pour la maîtrise de bactéries sporulées comme *Clostridium botulinum* mais également à l'égard de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella*.

4.3.1 *Clostridium botulinum*

Les intoxications botuliniques résultent de la consommation d'aliments dans lesquels la toxine botulique est préformée, on peut ainsi parler d'intoxication. Pour cela, il faut que *Clostridium botulinum* se soit multiplié et ait produit ses toxines. Les toxines sont produites pendant la phase de croissance des cellules végétatives suite à la germination des spores. L'intoxication fait souvent suite à la consommation de conserves mal stérilisées ou de jambon et salaison «maison». Le nitrite est utilisé pour lutter contre le développement de *C. botulinum* et ainsi éviter la production de toxine dans les produits de charcuterie et de salaison. L'inhibition de la croissance de *C. botulinum* serait due à l'interaction des composés nitrosés avec les clusters fer-souffre des enzymes essentiels de la chaîne respiratoire de cette bactérie anaérobie stricte (Milkowski *et al.*, 2010).

Il existe deux groupes de *C. botulinum*, ceux du groupe I protéolytiques (toxines A, B, F) dont les spores sont résistantes à la chaleur et peuvent germer et proliférer à une $a_w > 0,94$ (10% NaCl) et pH $> 4,6$ et ceux du groupe II non protéolytiques (toxines B, E, F) dont les spores sont sensibles à la chaleur, qui peuvent germer et proliférer à une $a_w > 0,97$ (5% NaCl) et pH $> 5,0$ mais avec une croissance possible à partir de 3°C ce qui n'est pas le cas des souches protéolytiques (EFSA, 2003). Keto-Timonen *et al.* (2012) ont montré que *C. botulinum* du groupe II ensemencé dans divers produits carnés traités à la chaleur (saucisses de type Wiener ou Bologna et jambon cuit) survit. La toxine botulique de type B est produite pendant le stockage à 8°C dans les produits sans nitrite alors qu'aucune toxine n'est présente dans les produits préparés avec 75 ou 120 mg/kg de nitrite au cours des 5 semaines de stockage. L'effet de deux traitements thermiques, un court (80°C, 7 min) et un long (80°C, 1 h) sur le potentiel toxigène de *C. botulinum* du groupe I inoculé dans de la viande de porc broyée a été étudié. Cette étude révèle qu'en présence de 100, 200 ou 300 mg/kg de nitrite, la probabilité de production de la toxine décroît de 96% à 35%, respectivement, pour le traitement court et de 86% à 23% pour le traitement long (EFSA, 2003). En présence d'ascorbate, la probabilité de production de la toxine décroît de 6% à 1% et de 8% à 0% pour les traitements court et long, respectivement.

Il apparaît à partir des résultats de diverses études que l'ajout de 50-100 mg/kg de nitrite est nécessaire pour inhiber la croissance de *C. botulinum* et ainsi la production de toxine dans différents produits carnés traités thermiquement. Cependant, dans les produits carnés non traités thermiquement, l'ajout de 150 mg/kg de nitrite est considéré comme nécessaire pour inhiber *C. botulinum*.

4.3.2 *Salmonella*

En France, en 2006/2007, la prévalence des salmonelles en surface des carcasses de porcs se situait aux environs de 17,6 % (EFSA, 2008). Ce niveau de contamination est particulièrement problématique

lorsque les pièces de découpe issues de carcasses contaminées sont utilisées pour la fabrication de produits de salaisons sèches, classés dans la catégorie des produits consommés en l'état. Même si les produits de type saucissons secs sont soumis, au cours du procédé, à des étapes technologiques (étuvage, séchage) ayant *a priori* un effet défavorable sur la croissance et la survie de la bactérie, la présence de *Salmonella* en fin de séchage est aujourd'hui une réalité. Depuis 2007, on note une augmentation de la prévalence des salmonelles dans les produits finis français, avec des retraits de lots et deux toxi-infections alimentaires liées à la consommation de saucisson sec qui ont secoué la profession en juin 2010 et décembre 2011. Cette émergence est souvent mise en relation avec l'amont (mode de l'alimentation des animaux) et avec les modifications que les professionnels ont opérées ces dernières années, aussi bien sur le plan technologique que sur le plan de la formulation (réduction des taux de matières grasses, des doses de sel, de nitrite,...). Ces observations ne se limitent pas à la France et des cas de salmonelloses en lien avec la consommation de viande de porc ont également été rapportés en Europe.

Des études récentes ont été réalisées sur des saucissons inoculés par *Salmonella enterica* serovar Typhimurium et fabriqués avec différentes concentrations de nitrate ou d'un mélange de nitrate/nitrite (Hospital *et al.*, 2014 ; ADIV-FICT, 2014 ; ADIV-FranceAgrimer, 2013). Il apparaît qu'en absence de ces composés ou quand uniquement du nitrate a été ajouté (150, 200, 205 mg/kg), une croissance de 2-2,5 log est observée pendant la phase de fermentation suivie d'une décroissance pendant la phase de maturation et de stockage mais cette décroissance est insuffisante pour éliminer ces bactéries. En présence d'un mélange de nitrate/nitrite, la croissance de *Salmonella* est faible (1 log) ou inexistante puis une diminution de la population est observée pendant la phase de maturation. Une absence de *Salmonella* est uniquement notée à la fin du stockage (90 j). Dans ces deux études, *Salmonella* n'est pas éliminée à la date potentielle de commercialisation des saucissons (Hospital *et al.*, 2014 ; ADIV-FICT, 2014).

4.3.3 Listeria

L'effet des nitrites contre *Listeria* a été testé dans des saucissons par les deux équipes mentionnées précédemment (Hospital *et al.*, 2012 ; ADIV-FICT, 2014). En absence de nitrate/nitrite ou en présence de nitrate uniquement, *Listeria* se multiplie pendant la fermentation, puis diminue faiblement pendant la maturation. En présence d'un mélange de nitrate/nitrite, la population reste stable ou diminue dès l'étuvage et une réduction de 2,5 log est atteinte en fin de maturation en présence d'une concentration 150/150 mg/kg de nitrate/nitrite alors qu'une réduction de seulement 1-1,5 log est notée en présence d'une concentration allant de 120/120 à 75/75 mg/kg de nitrate/nitrite. En fin de stockage (90 j), *Listeria* n'est plus détectée que dans les saucissons fabriqués avec au minimum 120/120 mg/kg de nitrate/nitrite en mélange. Suite à ces résultats, de nouvelles préconisations du code des usages (120 mg/kg au lieu de 150) ont été proposées (ADIV-FICT, 2014).

4.4 Alternatives

4.4.1 Extraits végétaux

De nombreuses études envisagent de maîtriser le risque sanitaire via la substitution partielle de l'apport en nitrite par l'apport d'extraits végétaux à activité antimicrobienne. A titre d'exemple, l'utilisation de poudre de cranberry (3%) en association avec 0,4% de poudre de céleri pour l'apport de nitrate permet d'empêcher la croissance de *L. monocytogenes* dans des saucisses de Francfort (Xi *et al.*, 2012). Une inhibition de *Clostridium perfringens* est notée dans des saucisses de type mortadelle préparées avec de l'huile essentielle de sarriette et 100 mg/kg de nitrite (Coutinho de Oliveira *et al.*, 2011). De même, un effet synergique est noté pour le contrôle de *C. botulinum* dans un milieu viande par la combinaison de 10 mg/kg de nitrite avec soit de la noix de muscade, de la sauge ou du clou de girofle (Cui *et al.*, 2010).

4.4.2 Ferments lactiques acidifiants

Les travaux récents cités ci-dessus ont montré la persistance de *Salmonella* dans des procédés de fabrication de saucisson sec en présence de nitrite à des pH peu acides (> 5) et à des aw de 0,90 ou 0,85 en fin de séchage (Hospital *et al.*, 2012 ; ADIV-IFIP, 2008). Des saucissons ont été fabriqués avec un ferment lactique modérément acidifiant permettant d'obtenir un pH de 5,1-5,2 en fin de fermentation et de 5,4-5,5 en fin de séchage ou un ferment acidifiant permettant d'obtenir un pH 4,8- 4,9 en fin de fermentation et de 4,8-5,0 en fin de séchage. Une croissance d'environ 3,5 log est notée pour *Salmonella* pendant la phase de fermentation des saucissons à pH modéré alors qu'une croissance de seulement 2 log est enregistrée pour les saucissons acides (ADIV-IFIP, 2008).

Ainsi, il apparaît que de nouvelles stratégies de barrière peuvent être envisagées en agissant sur deux leviers i) le procédé et notamment optimiser l'étape de fermentation et ii) via la formulation par l'apport de substituts pouvant pallier la réduction du sel et du nitrite, tout en préservant le caractère traditionnel des produits.

Conclusion

L'utilisation de nitrate/nitrite dans la fabrication des charcuteries reste très controversée. Faut-il interdire l'usage de ces substances, compte tenu de la toxicité du nitrite ? Ou faut-il continuer à autoriser leur usage en quantité encore plus limitée, compte tenu des nombreux effets positifs sur les qualités sensorielles et sanitaires des charcuteries ? Quid aussi des fortes quantités de nitrate absorbées lors de la consommation de légumes à feuilles sans commune mesure avec celle ajoutée dans les produits carnés ? Les questions restent posées, d'autant que plusieurs études récentes (Hammes, 2012 ; Milkowski *et al.*, 2010 ; Parthasarathy et Bryan, 2012) tendent à souligner le bénéfice pour la santé humaine de la consommation de nitrate/nitrite en quantité modérée; ces composés étant à l'origine de la formation d'oxyde nitrique (NO), dont il a été démontré médicalement qu'un déficit pouvait être à l'origine de plusieurs maladies. Lundberg *et al.* (2011) vont même jusqu'à spéculer sur le nitrate/nitrite, en avançant que « nous devons revoir notre façon de penser et arrêter de voir le nitrite comme une menace pour la santé humaine ; dans un futur proche, nous le considérerons même comme un nutriment essentiel à notre alimentation ».

Références bibliographiques

- ADIV, Christieans S. – Projet FranceAgrimer (2013-2015) « De nouvelles stratégies de barrières pour diminuer la prévalence des salmonelles dans le saucisson sec ».
- ADIV, Christieans S. – Projet FICT (2013-2014) « Impact de la réduction des nitrates et nitrites sur Salmonelle et *Listeria* dans les saucisses et saucissons secs de ménage ».
- ADIV, Christieans S. -IFIP – Projet APRIVIS (2008-2010) « Comportement des salmonelles au cours du procédé de fabrication et de la conservation des salaisons sèches :- impact des paramètres technologiques (nature du ferment, dose de sel, dose de sucre et apport en nitrite).
- Bazan-Lugo E., Garcia-Martinez I., Alfaro-Rodriguez R.H., Totosaus A., 2012. Color compensation in nitrite-reduced meat batters incorporating paprika or tomato paste. *J Sci Fod Agric.*, 92, 1627-1632.
- Crane B.R., Sudhamsu J., Patel B.A., 2010. Bacterial Nitric Oxide Synthases. *Annu. Rev. Biochem.* 79:445–70.
- Cui H., Gabriel A.A., Nakano H., 2010. [Antimicrobial efficacies of plant extracts and sodium nitrite against *Clostridium botulinum*](#). *Food Control*, 21, 1030-1036.
- Deda J.G., Bloukas J.G., Fista G.A., 2007. Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Science*, 76, 501–508

- Coutinho de Oliveira T.L., Araújo Soares R., Mendes Ramos E., Cardoso M., Alves E., Hilsdorf Piccoli R., 2011. Antimicrobial activity of *Satureja montana* L. essential oil against *Clostridium perfringens* type A inoculated in mortadella-type sausages formulated with different levels of sodium nitrite. *International Journal of Food Microbiology* 144, 546–555
- Doolaeghe E.H.A, Vossen E., Raes K., De Meulenaer B., Verhé R., Paelinck H., De Smet S., 2012. Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pâtés. *Meat Science*, 90, 925-931.
- EFSA, 2003. The effects of nitrites/nitrates on the microbiological safety of meat products. *EFSA Journal*, 14, 1-31.
- EFSA, 2008. Nitrates in vegetables. *EFSA Journal*, 689, 1-79.
- EFSA, 2008. Report on the task force on zoonoses data collection on the analysis of the base line survey on the prevalence of *Salmonella* in slaughter pigs. *EFSA Journal*, 135, 1-111.
- EFSA, 2010. Statement on nitrites in meat products. *EFSA Journal*, 8, 1538, 1-12
- Gøtterup J., Olsen K., Knöchel S., Tjener K., Stahnke L.H., Møller J.K.S., 2007. Relationship between nitrate/nitrite reductase activities in meat associated staphylococci and nitrosylmyoglobin formation in a cured meat model system. *International Journal of Food Microbiology* 120, 303-310.
- Gøtterup J., Olsen K., Knöchel S., Tjener K., Stahnke L.H., Møller J.K.S., 2008. Colour formation in fermented sausages by meat-associated staphylococci with different nitrite- and nitrate-reductase activities. *Meat Science* 78, 492-501.
- Gray J.I., MacDonald B., Pearson A.M., Morton I.D., 1981. Role of nitrite in cured meat flavor: a review. *Journal of Food Protection*, 44, 302-312.
- Guillard A.S., 1998, Role of sodium nitrite on phospholipid composition of cooked cured ham. Relation to its flavor. In *Food Flavors: formation analysis and packaging influences*. Ed. Elsevier Science. P 245-253
- Gündoğdu A., Karahan A., Çakmakç M., 2006. Production of nitric oxide (NO) by lactic acid bacteria isolated from fermented products. *European Food Research and Technology*, 223, 35–38.
- Hammes W.P., 2012. Metabolism of nitrate in fermented meats: the characteristic feature of a specific group of fermented foods. *Food Microbiology*, 29, 151-156
- Honikel K.O., 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science* 78, 68–76
- Hospital X.F., Hierro E. Fernandez M., 2014. Effect of reducing nitrate and nitrite added to dry fermented sausages on the survival of *Salmonella* Typhimurium. *Food Research International*, 62, 410-415.
- Hospital X.F., Hierro E., Fernandez M., 2012. Survival of *Listeria innocua* in dry fermented sausages and changes in the typical microbiota and volatile profile as affected by the concentration of nitrate and nitrite. *International Journal of Food Microbiology*, 153, 395-401.
- Jansens M., Van der Mijnsbrugge A., Sanchez Mainar M., Balzarini M., De Vuyst L., Leroy F., 2014. The use of nucleotides and arginine as alternatives energy sources by coagulase negative staphylococci in view of meat fermentation. *Food Microbiology*, 39, 53-60.
- Keto-Timonen R., Lindström M., Puolanne E., Niemistö M., Korkeala H., 2012. Inhibition of toxigenesis of group II (nonproteolytic) *Clostridium botulinum* type B in meat products by using a reduced level of nitrite. *Journal of Food Protection*, 75, 1346-1349.
- Krause B.L., Sebranek J.G., Rust R.E., Mendonca A., 2011. Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat, uncured, no-nitrite-or-nitrate-added, ground, cooked and sliced ham. *Meat Science*, 89, 507–513
- Li P., Kong B., Chen Q., Zheng D., Liu N., 2013. Formation and identification of nitrosylmyoglobin by *Staphylococcus xylosus* in raw meat batters: A potential solution for nitrite substitution in meat products. *Meat Science* 93, 67–72.
- Lundberg J.O., Carlström M., Larsen F.J., Weizberg E., 2011. Roles of dietary inorganic nitrate in cardiovascular health and disease. *Cardiovascular Research*, 89, 525-532.

- Marco A., Navarro J.L., Flores M., 2006. The influence of nitrite and nitrate on microbial, chemical and sensory parameters of slow dry fermented sausage. *Meat Science*, 73, 660-673.
- Milkowski A., Garg H.K., Coughlin J.R., Bryan N.S., 2010. Nutritional epidemiology in the context of nitric oxide biology: a risk-benefit evaluation for dietary nitrite and nitrate. *Nitric Oxide*, 22, 110-119.
- Morita H., Sakata R., Nagata Y., 1998. Nitric oxide complex of iron(II) myoglobin converted from metmyoglobin by *Staphylococcus xylosus*. *Journal of Food Science*, 63, 352–355.
- Morita H., Yoshikawa H., Sakata R., Nagata Y., Tanaka H., 1997. Synthesis of nitric oxide from the two equivalent guanidino nitrogens of L-arginine by *Lactobacillus fermentum*. *Journal of Bacteriology*, 179, 7812–7815.
- Parthasarathy D.K., Bryan N.S., 2012. [Sodium nitrite: The “cure” for nitric oxide insufficiency](#). *Meat Science*, 92, 3, 274-279.
- Pegg R.B., Honikel K.O., 2015. Principles of curing. In F. Toldra, editor, *Handbook of fermented meat and poultry*, p 19-30.
- Pegg R.B., Shahidi F., 2000. Nitrite curing of meat – The N-nitrosamine problem and nitrite alternatives Food & Nutrition Press, INC 268p.
- Sanchez Mainar M., Leroy F., 2015. Process driven bacterial community dynamics are key to cured meat colour formation by coagulase negative staphylococci via nitrate reductase or nitric oxide synthase activities. *International Journal of Food Microbiology*, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.009.
- Sebranek J.G., Bacus J.N., 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite what are the issues. *Meat Science* 77, 136–147.
- Sindelar J.J., Milkowski L.A., 2011. Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: a review of curing and examining the risk/benefice of its uses. *American Meat Science Association White Paper Series*, 3, 1-14.
- Talon R., Walter D., Chartier S., Barrière C., Montel M.C. 1999. Effect of nitrate and incubation conditions on the production of catalase and nitrate reductase by staphylococci. *International Journal of Food Microbiology*. Vol.52 pp.47-56.
- Vermassen A., de La Foye A., Loux V., Talon R., Leroy S., 2014. Transcriptomic analysis of *Staphylococcus xylosus* in the presence of nitrate and nitrite in meat reveals its response to nitrosative stress. *Frontiers in Microbiology*, 5, 1-15.
- Weiss J., Gibis M., Schuh V., Salminen H., 2010. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86, 196-213.
- Xi Y., [Sullivan G.A.](#), [Jackson A.L.](#), Zhou G.H., [Sebranek J.G.](#), 2012. Effects of natural antimicrobials on inhibition of *Listeria monocytogenes* and on chemical, physical and sensory attributes of naturally-cured frankfurters. *Meat Science*, 90, 130.138.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)