



HAL
open science

Réduire l'imprégnation en sel des charcuteries sèches – Conséquences sur les qualités technologiques et sensorielles des produits finis

Pierre-Sylvain Mirade

► **To cite this version:**

Pierre-Sylvain Mirade. Réduire l'imprégnation en sel des charcuteries sèches – Conséquences sur les qualités technologiques et sensorielles des produits finis. *Innovations Agronomiques*, 2019, 78, pp.69-79. <10.15454/gqvt-dc10>. <hal-02915063>

HAL Id: hal-02915063

<https://hal.inrae.fr/hal-02915063v1>

Submitted on 13 Aug 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Réduire l'imprégnation en sel des charcuteries sèches – Conséquences sur les qualités technologiques et sensorielles des produits finis

Mirade P.-S.¹

¹ INRA UR0370 QuaPA, F- 63122 Saint-Genès-Champanelle

Correspondance : pierre-sylvain.mirade@inra.fr

Résumé

Le salage est une technique de conservation largement utilisée depuis l'Antiquité pour prolonger la durée de conservation de la viande. Il consiste à mélanger ensemble la viande fraîche avec du chlorure de sodium et du nitrate/nitrite. Le chlorure de sodium affecte la saveur, la texture et la durée de conservation des produits carnés. Les nitrates et les nitrites affectent la couleur et la saveur, et confèrent aux charcuteries sèches leur arôme typique. La matière grasse animale présente dans les charcuteries joue aussi un rôle, en affectant principalement la saveur et la texture. Une consommation excessive de sodium cause de l'hypertension et génère un risque accru de maladies cardiovasculaires. La consommation de viandes transformées, ainsi que la consommation excessive d'acides gras saturés contenus dans la graisse de porc, ont été identifiées comme des facteurs favorisant certains cancers. Par conséquent, les consommateurs demandent, de plus en plus, de supprimer autant que possible ces « ingrédients » dans les viandes transformées et de développer des charcuteries sèches plus saines. Cet article examine comment et dans quelle mesure les teneurs en sodium et en matières grasses animales peuvent être réduites au cours du procédé d'élaboration des jambons secs et des saucissons fermentés.

Mots-clés : Sodium, Jambon sec, Saucisson sec, Réduction directe, Substitution partielle, Viande transformée

Abstract: Reducing the salt impregnation of dry-cured meat products - Consequences on the technological and sensory qualities of end products

Curing of meat is a preservation technique widely used since antiquity to prolong shelf life. It consists in bringing together meat with a mixture containing sodium chloride and nitrate/nitrite. Sodium chloride affects the flavour, texture and shelf life of meat products. Both nitrate and nitrite affect the colour, flavour and give to cured meat products their typical aroma. Animal fat contained in dry-cured meat products also plays a role by mainly affecting the flavour and texture. Excessive intake of sodium has been linked to hypertension and increased risk of cardiovascular diseases. Cured processed meat intake, as well as excessive intake of saturated fatty acids contained in pork fat, has been identified as factors promoting some cancers. Consequently, there is an increasing demand from people to remove as much these "ingredients" in processed meat and to develop healthier cured meat products. This paper reviews how and in what extend sodium and animal fat contents can be reduced during the elaboration process of dry-cured hams and dry-fermented sausages.

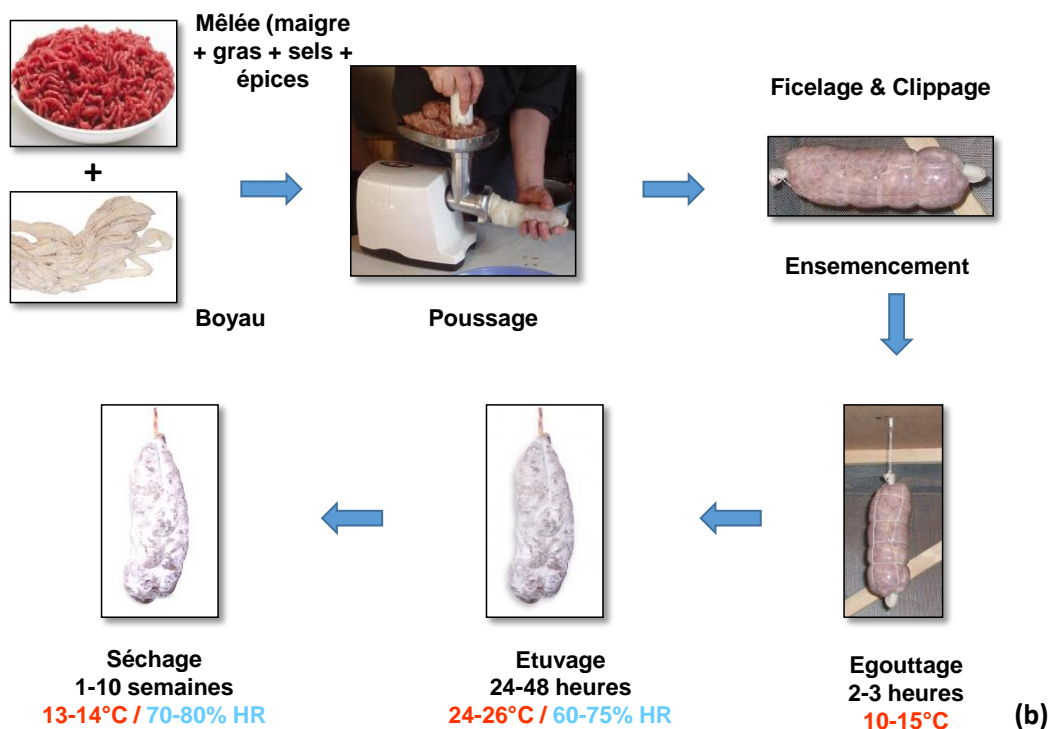
Keywords: Sodium, Dry-cured ham, Dry-fermented sausage, Direct reduction, Partial substitution, Processed meat

Introduction

La fabrication de charcuteries sèches du type saucisson et jambon secs correspond à un procédé de conservation, universellement utilisé depuis l'Antiquité, qui permet de prolonger la durée de vie de ces produits alimentaires. Il consiste à mettre en contact des muscles entiers (jambon) ou des mélanges de viande maigre et de gras hachés (saucisson), avec un mélange salant, souvent constitué de chlorure de sodium (formule chimique : NaCl, appelé « sel » par la suite), de nitrite de sodium (formule chimique : NaNO₂, Conservateur E250, appelé « nitrite ») et de nitrate de potassium (formule chimique : KNO₃, Conservateur E252, appelé « nitrate »). Le mélange salant permet de préserver le produit alimentaire de toute détérioration d'origine microbologique (Leistner, 1985), du fait de l'effet barrière qu'il induit par l'abaissement de l'activité de l'eau (a_w). Il contribue aussi positivement aux qualités organoleptiques finales du produit séché/maturé, comme la couleur, la texture, la flaveur ou l'arôme. L'étape de salage est suivie, soit d'une étape de fermentation qui conduit à un abaissement du pH, dans le cas du saucisson, soit de repos à basse température (2 à 4°C) qui permet une homogénéisation du sel, dans le cas du jambon, puis toujours par une étape de séchage et de maturation qui permet le développement typique de l'arôme de ce type de viandes (Figure 1).



(a)



(b)

Figure 1 : Schéma de fabrication simplifié des charcuteries sèches du type (a) jambon sec et (b) saucisson sec.

Le procédé de fabrication des charcuteries sèches diffère selon les régions dans le Monde, mais aussi en Europe (Flores, 1997). En effet, dans les pays du Nord, les charcuteries sèches sont fabriquées avec des maturations courtes, ne reçoivent que du sel et du nitrite, et subissent, la plupart du temps, une étape de fumage. En revanche, dans les pays Méditerranéens, les temps de séchage/maturation sont beaucoup plus longs, le mélange salant est constitué de sel, de nitrate/nitrite et aucun fumage n'est pratiqué. Au final, les qualités organoleptiques et sensorielles des charcuteries sèches sont donc fonction, non seulement des qualités de la matière première et des ingrédients ou des additifs utilisés lors de la formulation, mais aussi des différents procédés de fabrication traditionnels existant dans chaque région du Globe (Guerrero *et al.*, 2009).

D'un point de vue nutritionnel, la consommation de charcuterie sèche doit rester modérée, du fait de teneurs élevées en sel et en gras, ce qui contribue à apporter une quantité importante de sodium (2^{ème} source derrière le pain et les biscottes), de cholestérol, d'acides gras saturés et de calories dans l'alimentation. Par exemple, dans le cas du saucisson sec, la teneur finale en sel atteint 5% par rapport à la matière totale (MT), et celle en gras est généralement comprise entre 30% et 50% MT (Wirth, 1988). Dans le cas du jambon sec espagnol Serrano, le taux de sel exprimé par rapport à la matière sèche est compris entre 8% et 15%, en fin de séchage/maturation (Costa-Corredor *et al.*, 2009). Or une consommation excessive de sodium favorise l'hypertension artérielle et augmente les risques d'accidents cardiovasculaires et d'ostéoporose (AFSSA, 2002). Pour ces raisons, l'ensemble des organisations mondiales de santé humaine ont incité fortement les industriels à réduire les teneurs en sel, lors de la fabrication des produits alimentaires. Par exemple, l'Académie Nationale des Sciences, aux Etats-Unis, et l'AFSSA, en France, recommandent une consommation maximale de chlorure de sodium n'excédant pas 6 g par jour, ce qui impose de diviser par deux la consommation actuelle des habitants dans des pays comme les Etats-Unis, l'Irlande ou la France (Desmond, 2006; AFSSA, 2008). Une consommation excessive de matière grasse a été associée à un risque accru d'obésité, de cancers, d'hypercholestérolémie et de maladies coronariennes. De ce fait, les recommandations nutritionnelles (Nishida *et al.*, 2004) préconisent de limiter la consommation de matière grasse, de façon à ce qu'elle ne représente pas plus de 30% des apports caloriques de la ration alimentaire, tout en étant équilibrée entre les acides gras saturés (moins de 10%), polyinsaturés (6 à 10%, avec idéalement 5 à 8% d' ω -6 et 1 à 2% d' ω -3), mono-insaturés (10 à 15%) et insaturés trans (moins de 1%).

Tout ceci montre l'absolue nécessité de développer des charcuteries sèches à teneurs réduites en sodium, en acides gras saturés, voire en nitrate/nitrite. Au travers d'exemples concernant le jambon sec (49 917 t produites en 2018, en France) et le saucisson sec (116 444 t en 2018, en France), cet article se propose de faire le point sur les principales avancées technologiques réalisées ces dernières années, conduisant à l'élaboration de charcuteries sèches aux valeurs nutritionnelles améliorées.

1. Réduction/substitution du chlorure de sodium dans les charcuteries sèches

Bien qu'une consommation excessive de sodium soit néfaste pour la santé humaine, le chlorure de sodium reste un ingrédient majeur dans la fabrication des charcuteries sèches, du fait de ses nombreuses fonctionnalités technologiques (Weiss *et al.*, 2010). Par son effet sur l'activité de l'eau (a_w), le sel est un conservateur, il préserve l'aliment de toute dégradation d'origine microbienne et/ou des micro-organismes indésirables ou pathogènes, tels que *Clostridium botulinum* et *Listeria monocytogenes*. Toute réduction de la quantité de sel ajoutée lors de la fabrication d'un produit alimentaire peut donc se traduire par un réel risque microbiologique, peut potentiellement raccourcir la durée de conservation du produit et aussi mettre en danger la santé humaine. Tous ces aspects liés aux propriétés antimicrobiennes du chlorure de sodium dans les aliments ont été traités dans la revue de Taormina (2010), ainsi que les conséquences d'une réduction et du remplacement du sel (ou du sodium) sur la sécurité et la qualité microbiologiques des aliments. Le sel contribue aussi à donner aux charcuteries sèches leur flaveur caractéristique. Enfin, il joue un rôle prépondérant dans la texture finale

des produits, par exemple, par son action sur la solubilisation des protéines myofibrillaires de la viande. Dans le cas du jambon sec, le sel permet de contrôler l'activité enzymatique au sein des muscles, en inhibant certaines protéases, ce qui conduit à maîtriser l'évolution de la protéolyse (Toldrá, 2006). Aussi, l'élaboration de charcuteries sèches à teneur réduite en sodium est loin d'être simple, vu le rôle majeur joué par le sel qui fait que, non seulement la saveur salée perçue logiquement diminue, mais aussi l'intensité de la flaveur typique des produits séchés (Ruusunen et Puolanne, 2005). Les risques d'une réduction de la teneur en chlorure de sodium dans les charcuteries sèches sont une mauvaise texture (protéolyse intense) et une mauvaise tenue du produit, qui deviendront problématiques au moment du tranchage, ainsi qu'une réduction de la flaveur et de l'arôme typique de ces produits (Benedini *et al.*, 2012).

1.1 Réduction directe de la teneur en chlorure de sodium

La stratégie la plus simple pour réduire la teneur en sodium des charcuteries sèches consiste à réduire directement et progressivement la quantité de chlorure de sodium ajoutée lors de la fabrication de ces produits, ce qui a été fait par beaucoup d'industriels ces dernières décennies. Dès 1982, il est indiqué qu'une réduction maximale de 25% de la teneur en sodium peut être réalisée dans la plupart des produits carnés transformés, sans modification préjudiciable de leur flaveur, de leur texture et de leur durée de vie (Olson, 1982). Toutefois, peu d'études où seule une diminution de la quantité de chlorure de sodium ajoutée a été pratiquée, existent dans la littérature. Dans le cas de jambons de Parme, Benedini *et al.* (2012) ont constaté qu'une simple réduction de la teneur en sel de 5,5% à 4% (en masse totale) se traduisait par des modifications notables de texture, d'arôme et de goût. Toutefois, ils indiquent que la production de jambons de Parme aux qualités organoleptiques préservées et ayant une teneur en sel réduite de 25% est possible, à condition de rallonger le temps de maturation et de maîtriser la protéolyse. Dans le cas de jambons Corses de 18 mois d'âge, une réduction du temps de salage s'est traduite par une diminution de la teneur en sel de ces jambons, de 7,3% à 4,7%, mais aussi par l'apparition d'odeurs de rance et de beurre liées à l'oxydation des lipides, préjudiciables à l'acceptabilité finale de ce type de produit par les consommateurs (Coutron-Gambotti *et al.*, 1999). Andrés *et al.* (2004) et Costa-Corredor *et al.* (2009) ont constaté une perte de saveur salée, d'arôme et une texture plus molle nuisibles à la qualité globale, respectivement, dans le cas de jambons Ibériques et de jambons Espagnols restructurés, ayant subi une réduction de 50% de la teneur en sel lors de leur fabrication. Le même taux de réduction appliqué à des saucissons secs Portugais fumés s'est traduit systématiquement par des valeurs d' a_w et de pH significativement plus élevées, par des variations en termes de protéolyse, et au final, par des profils aromatiques différents (Roseiro *et al.*, 2008). Il apparaît donc très difficile de réduire de plus de 25% la teneur en sodium, seulement en réduisant directement la quantité de chlorure de sodium ajoutée aux charcuteries lors de leur fabrication, sans engendrer des défauts de texture ou/et d'arôme. De plus, selon Ruusunen et Puolanne (2005), dans le cas des produits séchés, une réduction de la teneur en chlorure de sodium ne peut être réalisée seule, car il est indispensable d'atteindre un niveau bas d' a_w , de façon à assurer la stabilité microbiologique de ces produits.

1.2 Substitution partielle du chlorure de sodium par d'autres sels

Une autre stratégie, très largement pratiquée, consiste à remplacer une partie du chlorure de sodium (NaCl) par des sels de substitution, notamment par du chlorure de potassium (KCl), du chlorure de calcium (CaCl₂), du chlorure de magnésium (MgCl₂) ou du lactate de potassium (C₃H₅KO₃), ce qui permet de réduire la teneur globale en sodium, tout en contrôlant l' a_w à l'intérieur des produits. Le sel de substitution le plus couramment employé est le KCl, du fait d'un comportement similaire à celui du NaCl, en termes de solubilisation des protéines et d'inhibition de l'activité des protéases (Armenteros *et al.*, 2009). Par contre, à forte concentration, le KCl génère une forte amertume et des goûts métalliques au

sein des produits. Par exemple, Gou *et al.* (1996) ont mis en évidence un défaut d'amertume dans le cas de saucissons secs, dès un taux de substitution du NaCl par le KCl de 30%, ce défaut restant néanmoins acceptable jusqu'à un taux de substitution de 40 à 50%. Ces mêmes auteurs ont aussi mis en évidence des défauts d'arôme et de goût pour des taux de substitution par du lactate de potassium et de la glycine égaux à 40%, ainsi que des problèmes de texture (cohésion plus faible) pour des taux de substitution par du lactate de potassium et de la glycine égaux à 30% et 40%, respectivement. Gelabert *et al.* (2003) ont sensiblement trouvé les mêmes résultats, avec l'apparition de défauts de flaveur et de texture, à partir d'une substitution du NaCl égale à 40% pour le KCl, 30% pour le lactate de potassium et 20% pour la glycine. Ces auteurs ont également constaté que remplacer 40% à 70% du NaCl par des mélanges KCl/lactate de potassium et lactate de potassium/glycine n'avait aucun intérêt, compte tenu de l'ampleur des défauts de flaveur et de texture constatés. Par contre, Ibañez *et al.* (1997) n'ont pas trouvé de différences significatives entre des saucissons témoins fabriqués avec 3% de NaCl et des saucissons fabriqués avec 1,5% de NaCl et 1% de KCl. Dans le cas de produits plus volumineux de type jambon sec, Aliño *et al.* (2010) ont constaté que le remplacement partiel du NaCl par d'autres sels avait pour conséquence de ralentir la baisse de l' a_w au sein du produit, ce qui a nécessité de rallonger de 32% (si salage avec 50% NaCl + 50% KCl) et de 52% (si salage avec 55% NaCl + 25% KCl + 15% $CaCl_2$ + 5% $MgCl_2$) la phase de repos post-salage à basse température, pour obtenir des valeurs d' a_w semblables à celles des jambons témoins (100% NaCl), et ainsi, assurer la stabilité microbiologique de ces produits dans la suite du procédé de fabrication. Les auteurs expliquent ces différences par le fait que les cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}) resteraient principalement en surface du jambon, interagiraient avec les protéines, ce qui freinerait la diffusion des sels vers l'intérieur des muscles, confirmant ainsi les observations faites précédemment par Blesa *et al.* (2008). Armenteros *et al.* (2012) ont aussi mis en évidence des défauts dans les attributs sensoriels de jambons contenant du $CaCl_2$ et du $MgCl_2$, tandis que les jambons fabriqués avec 50% de KCl obtenaient de meilleurs résultats, à l'exception du goût, qui présentait une amertume excessive probablement due au KCl ajouté. Ces auteurs ont montré que les défauts dus à une réduction de 50% de NaCl dans le cas de jambons secs restructurés pouvaient être compensés par l'ajout de lactate de potassium et par une phase de séchage réalisée à 15°C. Pour le même type de jambon, Fulladosa *et al.* (2009) n'avaient observé aucun impact négatif de l'ajout de lactate de potassium sur les principaux attributs sensoriels, à savoir la couleur, le goût et la texture.

Les principaux défauts générés par l'emploi de sels de substitution peuvent être corrigés par l'ajout d'exhausteurs de goût ou d'agents masquant, dont de nombreux types sont disponibles commercialement (Desmond, 2006). Par exemple, des saucissons secs ont été fabriqués, en remplaçant partiellement 50% du NaCl par du KCl, auquel ont été éventuellement ajoutés de la lysine et des exhausteurs de goût (guanylate disodique et inosinate disodique) à hauteur de 600 mg/kg (Campagnol *et al.*, 2012). La substitution seule du NaCl par du KCl n'a pas modifié, de manière significative, la fermentation et le processus de séchage ; par contre, des défauts d'arôme, de goût et de texture, et donc de qualité globale des produits, ont été décelés par le panel de consommateurs. L'ensemble de ces défauts a été ensuite corrigé par l'ajout combiné de lysine et des deux exhausteurs de goût. Cette étude démontre qu'il est donc possible, moyennant l'ajout d'exhausteurs de goût, de fabriquer des saucissons secs tout à fait acceptables sur le plan sensoriel, dans lesquels la teneur en sodium a été réduite de 50% (Campagnol *et al.*, 2012). Il est intéressant de souligner que, dans l'ensemble des études présentées dans cette partie, aucun problème sanitaire ou d'hygiène, lié à la croissance de micro-organismes indésirables, n'a été constaté.

2. Réduction combinée du sodium et de la matière grasse animale dans les charcuteries sèches

Du fait du séchage, les saucissons secs ou les salamis peuvent contenir, au final, de 30% à 50% de matière grasse animale en masse totale. Cette proportion de gras est un déterminant majeur des caractéristiques sensorielles (flaveur, texture, jutosité, apparence) finales de ce type de produit. Une simple réduction de la teneur en matière grasse animale se traduit logiquement par une perte d'arôme, difficilement acceptée par le consommateur. A partir d'expériences portant sur des saucissons ayant des teneurs en matière grasse comprises entre 10% et 30%, Olivares *et al.* (2011) ont constaté que la réduction de la matière grasse freinait la lipolyse, l'oxydation des lipides et la formation des composés volatils. Leurs résultats ont aussi montré que l'acceptabilité du consommateur était fortement corrélée à des taux de matière grasse élevés et à des temps de maturation longs. Dans une étude précédente, Olivares *et al.* (2010) avaient déterminé que la limite entre acceptabilité et rejet par les consommateurs des saucissons secs allégés correspondait à une teneur initiale en matière grasse de 16%, ce qui autorise une réduction d'environ 50% par rapport au standard de la profession. Lorenzo et Franco (2012) ont montré que des taux de gras élevés conféraient une couleur brillante et une texture plus souple, et favorisaient la production d'acides gras libres, dans le cas de saucissons fabriqués à partir d'un mélange de viande chevaline et de gras de porc (de 5 à 20%).

La réduction de la teneur en sodium des charcuteries sèches, associée à une réduction de leur teneur en matière grasse animale, contribuent, de toute évidence, à améliorer la valeur nutritionnelle de ces produits alimentaires. Même si les moyens d'action semblent plus limités que dans le cas des charcuteries cuites, plusieurs études ont été conduites ces dernières années pour améliorer le profil nutritionnel des charcuteries fermentées et séchées (saucisson, salami...), en modifiant leur profil lipidique ou en incorporant des fibres alimentaires ou des antioxydants d'origine naturelle. Des saucissons secs, dans lesquels des probiotiques ont été ajoutés, ont même été produits avec succès (Klingberg *et al.*, 2005 ; Muthukumarasamy et Holley, 2006). Plusieurs revues traitent donc de ce sujet (De Vuyst *et al.*, 2008 ; Jiménez-Colmenero, 2007 ; Mugerza *et al.*, 2004 ; O'Shea *et al.*, 2012 ; Weiss *et al.*, 2010 ; Zhang *et al.*, 2010). Par contre, à chaque incorporation d'élément ou à chaque modification des teneurs en sodium ou en gras, il est indispensable d'évaluer les conséquences de ces changements sur les qualités organoleptiques, sanitaires et sensorielles des « nouveaux » produits. De plus, la plupart du temps, l'ensemble des qualités de ces nouveaux produits doivent correspondre à celles du produit équivalent non modifié, alors que des différences existent forcément, notamment sur le plan de la flaveur typique. Il n'est donc pas évident que cela soit la meilleure façon de favoriser la mise sur le marché de produits de charcuterie aux qualités nutritionnelles améliorées.

Jusqu'à ces dernières années, très peu d'études avaient concrètement investigué les effets d'une réduction du sodium et de la matière grasse animale dans les produits de charcuteries sèches, sans doute parce que ces deux réductions combinées entraînent une perte très marquée de l'arôme et du goût typique de ce type de produits. Il convient de citer les travaux de Beriain *et al.* (2011) qui ont montré que la substitution de 50% de la matière grasse animale par une émulsion d'eau, d'huile d'olive et d'alginate, avec ou sans inuline, combinée à une substitution de 58% du NaCl par 20% KCl et 38% de CaCl₂, n'impactaient pas trop négativement le procédé de fabrication de chorizos de Pampelune : aucune différence dans la cinétique de pH ou sur les évolutions des populations microbiologiques n'a été détectée. Les chorizos contenant de l'alginate étaient, toutefois, plus brillants et plus durs que les traditionnels, à l'exception de ceux contenant 6% d'inuline. Lors de la fabrication de saucissons secs fermentés, Safa *et al.* (2015) ont montré qu'une réduction directe combinée des teneurs en sel et en matière grasse animale augmentait l'acidification, les pertes de poids des produits, ainsi que l' a_w finale. Cette réduction combinée a aussi conduit à une amplification de la protéolyse et à une réduction de la lipolyse et des oxydations des protéines et des lipides, altérant ainsi les attributs sensoriels des produits finis (Safa *et al.*, 2015). Dans une autre étude, ces mêmes auteurs ont quantifié les effets d'une substitution partielle combinée du NaCl par du KCl et du gras de bardière par de l'huile de tournesol sur

les principaux paramètres physiques, chimiques et biochimiques, ainsi que sur la couleur et la texture des produits en fin de séchage, tout en évaluant l'acceptabilité par le consommateur de ces nouvelles charcuteries. Ces auteurs ont montré que les teneurs en sodium et en acides gras saturés pouvaient être réduites jusqu'à 30% et 60%, respectivement, sans impacter négativement les propriétés texturales finales et la couleur des saucissons secs, ainsi que l'acceptabilité par le consommateur (Safa *et al.*, 2016). Le même type d'étude a été réalisé dans le cas de saucisses fermentées de petit calibre par Mora-Gallego *et al.* (2016), qui ont constaté qu'une réduction des teneurs en NaCl et en matière grasse, de 2,5% à 1,5% et de 33,2% à 15,1%, respectivement, combinée à l'ajout de 0,64% de KCl et de 1,5% d'huile de tournesol, contribuaient à accroître l'acceptabilité par les consommateurs.

Plusieurs études très récentes ont montré l'intérêt d'ajouter des extraits de levure pour améliorer l'arôme des saucissons secs à teneurs réduites en sel et en matière grasse. En effet, Campagnol *et al.* (2011) ont montré qu'ajouter 2% d'extrait de levure dans des saucissons fermentés présentant une teneur en sodium réduite de 50% augmentait la production de composés volatils, contribuant ainsi à supprimer les défauts sensoriels causés par l'addition de KCl et conduisant à des produits ayant des qualités sensorielles tout à fait acceptables. Plus récemment, Corral *et al.* (2015) ont confirmé que la sélection et l'utilisation appropriées d'extraits de levure présentant un potentiel aromatique, comme *Debaromyces hansenii*, pourraient constituer une bonne stratégie pour améliorer les qualités aromatiques et gustatives de saucissons secs reformulés, mais pas leur texture. De plus, l'effet bénéfique généré par l'inoculation de levures est loin d'être évident lorsque les réductions de sodium et de matière grasse sont combinées au cours de la fabrication des charcuteries sèches (Corral *et al.*, 2015). Des souches de levure peuvent également êtreensemencées et utilisées comme agent masquant pour améliorer les propriétés physiques, chimiques et sensorielles de saucissons secs fabriqués avec de la matière grasse provenant de mâles entiers. Récemment, Corral *et al.* (2017) ont montré que l'inoculation de souches de *Debaromyces hansenii* permettait de réguler la perte d'eau au cours du séchage en raison de la croissance des levures en surface, tout en améliorant la texture de produits contenant de la bardière de mâles entiers, conférant ainsi des propriétés texturales similaires à celles de produits témoins fabriqués avec de la matière grasse issue de porcs plus jeunes.

Dans le cas du jambon sec, dont la fabrication dure de 6 à plus de 24 mois dans certains cas, comme il s'agit d'un produit traité dans son entier à partir d'un salage en surface, le seul moyen d'action réside en une réduction de la teneur en sodium, soit directement, soit partiellement au profit d'une augmentation de la teneur en potassium, voire en calcium. Toutefois, les modifications de procédé sont faites avec prudence, puisque certaines études (Blesa *et al.*, 2008 ; Aliño *et al.*, 2010), citées précédemment, ont montré que le simple fait de vouloir substituer environ 50% du NaCl par d'autres sels avait conduit à augmenter de 30% à 50% le temps de la phase de repos post-salage, suivant le(s) sel(s) utilisé(s), du fait de l'accroissement de l' a_w . Dans cette optique de réduction de la teneur en sodium des jambons, la tomographie à rayons X est un outil d'imagerie intéressant pour suivre en continu, de manière non invasive, les transferts de sel et d'eau, ainsi que l' a_w , à différents stades de fabrication des jambons secs (Santos-Garcés *et al.*, 2012). Très récemment, Harkouss *et al.* (2018) ont développé un simulateur de procédé de fabrication de jambons secs, appelé « jambon numérique », permettant de quantifier les effets biochimiques (protéolyse, oxydation lipidique), texturaux, structuraux et microbiologiques induits par une forte réduction de la teneur en sel lors de la fabrication d'un jambon sec. En couplant des modèles physiques de transferts de chaleur et de matière avec des modèles phénoménologiques de quantification de la protéolyse, la version 3D du simulateur développé permet de prédire quantitativement la dynamique d'évolution de l'indice de protéolyse (IP), des teneurs en eau et en sel, ainsi que celle de l' a_w , à l'intérieur d'une géométrie réelle de jambon. Cette géométrie avait été préalablement construite à partir d'une série de 181 images de tomographie X. L'ensemble de ces variables peut être visualisé selon des cartographies (Figure 2), des profils et même selon des valeurs moyennes calculées pour les principaux groupes de muscles constituant le jambon. Le simulateur prédit

la prise de sel lors de l'étape de salage et la perte d'eau du fait du séchage et permet d'estimer la cinétique de pertes de poids du jambon tout au long de sa fabrication.

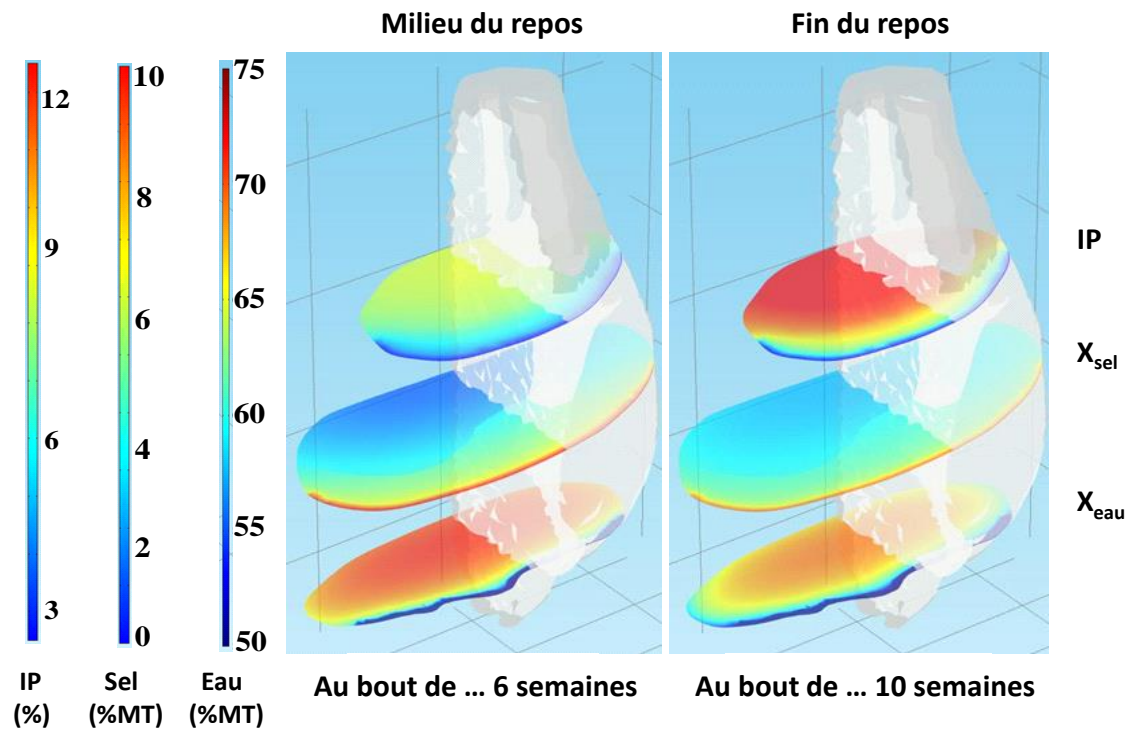


Figure 2 : Exemple de cartographies des teneurs en eau (X_{eau}), en sel (X_{sel}) et de l'indice de protéolyse (IP) prédites au sein d'un jambon par le simulateur de procédé construit par Harkouss *et al.* (2018), au milieu et à la fin de la phase de repos réalisée à basse température.

Le simulateur a d'ores et déjà été utilisé avec succès auprès d'un industriel désireux, tout en maîtrisant le niveau final de protéolyse, de réduire la teneur en sel de ses jambons, par une réduction de la durée de l'étape de salage (Parafita *et al.*, 2015). Le modèle a permis d'estimer, en moins de 10h de calcul, la durée supplémentaire de la phase de repos réalisée à basse température (environ 3 semaines) qui serait nécessaire à deux lots de jambons dont la durée de salage avait été réduite de 25% et 33%, pour atteindre un niveau d' a_w en fin de phase de repos équivalent à celui du lot de jambons témoins normalement salés (0,964 et 0,965 vs. 0,963). L'hypothèse étant qu'une même valeur d' a_w en fin du repos signifie l'obtention d'un niveau de protéolyse et donc d'une texture équivalente au lot témoin, en fin de procédé.

Conclusions

La réduction des teneurs en sodium et en acides gras saturés dans les charcuteries sèches, la suppression de l'ajout de nitrate/nitrite et de ce fait, le développement de charcuteries sèches à meilleure valeur nutritionnelle, sont au cœur des problématiques actuelles des professionnels (fabricants, technologues, chercheurs, ingénieurs...) de la viande. Cela semble être une voie indispensable, en vue de redorer l'image de la charcuterie dans l'opinion publique, d'autant plus que beaucoup de consommateurs sont prêts à accepter des produits de salaison allégés en sel, en matière grasse, et sans nitrite (Guardia *et al.*, 2006). La consommation de charcuteries sèches présente un intérêt nutritionnel certain, en termes de quantité de protéines ingérées, du fait de leur concentration

suite au séchage, et compte tenu de leur profil en acides aminés essentiels, qui est bien équilibré et voisin des besoins de l'Homme.

Connaître ce que l'on mange, manger varié et équilibré, mais avec modération, sont des éléments essentiels en matière d'alimentation et de nutrition humaine. Si avoir une alimentation équilibrée relève de la responsabilité du consommateur, l'industrie alimentaire, et donc l'industrie de la viande, doit être capable de mettre à la disposition des consommateurs une gamme variée de produits répondant à cette demande. Ceci ne sera possible que si une approche multidisciplinaire entre les scientifiques (sciences alimentaires, génie des procédés, modélisation, microbiologistes, biochimistes, toxicologues, nutritionnistes...), les professionnels et les technologues de la charcuterie, est mise en place, conduisant, par exemple, au développement d'outils informatiques d'aide à la décision ou de simulation numérique semblables au « jambon numérique ».

Références bibliographiques

- AFSSA, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, 2002. Rapport sel : évaluation et recommandations, Paris.
- AFSSA, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, 2008. Présentation de l'étude INCA 2, Paris.
- Aliño M., Grau R., Fuentes A., Barat J.M., 2010. Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. *Journal of Food Engineering* 99, 198-205.
- Andrés A.I., Cava R., Ventanas J., Thovar V., Ruiz J., 2004. Sensory characteristics of Iberian ham: Influence of salt content and processing conditions. *Meat Science* 68, 45-51.
- Armenteros M., Aristoy M.C., Barat J.M., Toldrá F., 2009. Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl. *Food Chemistry* 117, 627-633.
- Armenteros M., Aristoy M.C., Barat J.M., Toldra F., 2012. Biochemical and sensory changes in dry-cured ham salted with partial replacements of NaCl by other chloride salts. *Meat Science* 90, 361-367.
- Benedini R., Parolari G., Toscani T., Virgili R., 2012. Sensory and texture properties of Italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. *Meat Science* 90, 431-437.
- Beriain M.J., Gomez I., Petri E., Insausti K., Sarries M.V., 2011. The effects of olive oil emulsified alginate on the physico-chemical, sensory, microbial and fatty acid profiles of low-salt, inulin-enriched sausages. *Meat Science* 88, 189-197.
- Blesa E., Alino M., Barat J.M., Grau R., Toldra F., Pagan M.J., 2008. Microbiology and physico-chemical changes of dry-cured ham during the post-salting stage as affected by partial replacement of NaCl by other salts. *Meat Science* 78, 135-142.
- Campagnol P.C.B., dos Santos B.A., Wagner R., Terra N.N., Pollonio M.A.R., 2011. The effect of yeast extract addition on quality of fermented sausages at low NaCl content. *Meat Science* 87, 290-298.
- Campagnol P.C., dos Santos B.A., Terra N.N., Pollonio M.A.R., 2012. Lysine, disodium guanylate and disodium inosinate as flavor enhancers in low-sodium fermented sausages. *Meat Science* 91, 334-338.
- Corral S., Salvador A., Belloch C., Flores M., 2015. Improvement of the aroma of reduced fat and salt fermented sausages by *Debaromyces hansenii* inoculation. *Food Control* 47, 526-535.
- Corral S., Belloch C., López-Díez J.J., Salvador A., Flores M., 2017. Yeast inoculation as a strategy to improve the physico-chemical and sensory properties of reduced salt fermented sausages produced with entire male fat. *Meat Science* 123, 1-7.
- Costa-Corredor A., Serra X., Arnau J., Gou P., 2009. Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams: Post-resting temperature and drying level effects on physicochemical and sensory parameters. *Meat Science* 83, 390-397.
- Coutron-Gambotti C., Gandemer G., Rousset S., Maestrini O., Casabianca F., 1999. Reducing salt content of dry-cured ham: Effect on lipid composition and sensory attributes. *Food Chemistry* 64, 13-19.
- Desmond E., 2006. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science* 74, 188-196.

- De Vuyst L.D., Falony G., Leroy F., 2008. Probiotics in Fermented Sausages. *Meat Science* 80, 75-78.
- Flores J., 1997. Mediterranean vs Northern European meat products. Processing technologies and main differences. *Food Chemistry* 59, 505-510.
- Fulladosa E., Serra X., Gou P., Arnau J., 2009. Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science* 82, 213-218.
- Gelabert J., Gou P., Guerrero L., Arnau J., 2003. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. *Meat Science* 65, 833-839.
- Gou P., Guerrero L., Gelabert J., Arnau J., 1996. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science* 42, 37-48.
- Guardia M.D., Guerrero L., Gelabert J., Gou P., Arnau J., 2006. Consumer attitude towards sodium reduction in meat products and acceptability of fermented sausages with reduced sodium content. *Meat Science* 73, 484-490.
- Guerrero L., Guardia M.D., Xicola J., Verbeke W., Vanhonacker F., Zakowska-Biemans S., Sajdakowska M., Sulmont-Rosse C., Issanchou S., Contel M., Scalvedi M.L., Granli B.S., Hersleth M., 2009. Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite* 52, 345-354.
- Harkouss R., Chevarin C., Daudin J.D., Sicard J., Mirade P.S., 2018. Developing a multi-physical finite element-based model that predicts water and salt transfers, proteolysis and water activity during the salting and post-salting stages of dry-cured ham process. *Journal of Food Engineering* 218, 69-79.
- Ibañez C., Quintanilla L., Cid C., Astiasarán I., Bello J., 1997. Dry fermented sausages elaborated with *Lactobacillus plantarum-Staphylococcus carnosus*. Part II: Effect of partial replacement of NaCl with KCl on the proteolytic and insolubilization processes. *Meat Science* 46, 277-284.
- Jiménez-Colmenero F., 2007. Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in Food Science and Technology* 18, 567-578.
- Klingberg T.D., Axelsson L., Naterstad K., Elsser D., Budde B.B., 2005. Identification of potential probiotic starter cultures for Scandinavian-type fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology* 105, 419-431.
- Leistner L., 1985. Hurdle technology applied to meat products of the shelf stable product and intermediate moisture food types. In: Simatos, D. and Multon, J.L., Eds., *Properties of Water in Foods in relation to Quality and Stability*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 309-329.
- Lorenzo J.M., Franco D., 2012. Fat effect on physico-chemical, microbial and textural changes through the manufacture of dry-cured foal sausage Lipolysis, proteolysis and sensory properties. *Meat Science* 92, 704-714.
- Mora-Gallego H., Guàrdia M.D., Serra X., Gou P., Arnau J., 2016. Sensory characterization and consumer acceptability of potassium chloride and sunflower oil addition in small-caliber non-acid fermented sausages with a reduced content of sodium chloride and fat. *Meat Science* 112, 9-15.
- Muguerza E., Gimeno O., Ansorena D., Astiasarán I., 2004. New formulations for healthier dry fermented sausages: A review. *Trends in Food Science and Technology* 15, 452-457.
- Muthukumarasamy P., Holley R.A., 2006. Microbiological and sensory quality of dry fermented sausages containing alginate-microencapsulated *Lactobacillus reuteri*. *International Journal of Food Microbiology* 111, 164-169.
- Nishida C., Uauy R., Kumanyika S., Shetty P., 2004. The joint WHO/FAO expert consultation on diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: Process, product and policy implications. *Public Health Nutrition* 7, 245-250.
- Olivares A., Navarro J.L., Salvador A., Flores M., 2010. Sensory acceptability of slow fermented sausages based on fat content and ripening time. *Meat Science* 86, 251-257.
- Olivares A., Navarro J.L., Flores M., 2011. Effect of fat content on aroma generation during processing of dry fermented sausages. *Meat Science* 87, 264-273.

Olson D.G., 1982. Salt for processing probably can be cut by only one quarter. *The National Provisioner* 17, 7-10.

O'Shea N., Arendt E.K., Gallagher E., 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16, 1-10.

Parafita E., Lebert A., Mirade P.S., 2015. Dry ham with a reduced salt content: minimizing the proteolysis risks by processing and formulation. *Proceedings of 61st International Congress of Meat Science and Technology (61st ICoMST)*, 4p., Clermont-Ferrand.

Roseiro L.C., Santos C., Sol M., Borges M.J., Anjos M., Goncalves H., Carvalho A.S., 2008. Proteolysis in Painho de Portalegre dry fermented sausage in relation to ripening time and salt content. *Meat Science* 79, 784-794.

Ruusunen M., Puolanne E., 2005. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science* 70, 531-541.

Safa H., Gatellier P., Lebert A., Picgirard L., Mirade P.S., 2015. Effect of combined salt and animal fat reductions on physicochemical and biochemical changes during the manufacture of dry-fermented sausages. *Food and Bioprocess Technology* 8, 2109-2122.

Safa H., Gatellier P., Berdagué J.L., Kondjoyan N., Mercier F., Portanguen S., Favier R., Mirade P.S., 2016. Physicochemical, biochemical and instrumental attributes and consumer acceptability of dry-fermented sausages elaborated with combined partial substitutions of sodium chloride and pork backfat. *Food and Nutrition Sciences* 7, 1297-1314.

Santos-Garcés E., Munoz I., Gou P., Sala X., Fulladosa E., 2012. Tools for studying dry-cured ham processing by using computed tomography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 241-249.

Taormina P.J., 2010. Implications of salt and sodium reduction on microbial food safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50, 209-227.

Toldrá F., 2006. The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. *Trends in Food Science and Technology* 17, 164-168.

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.

Wirth F., 1988. Technologies for making fat-reduce meat products. What possibilities are there? *Fleischwirtschaft* 68, 1153-1156.

Zhang W., Xiao S., Samaraweera H., Lee E.J., Ahn D.U., 2010. Improving functional value of meat products. *Meat Science* 86, 15-31.

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 ou DOI).