



Vers des saucissons secs sans conservateurs

Intérêt des extraits de levure pour produire des saucissons secs sans conservateurs.

Mots clés : nitrite, nitrate, saucisson

Auteur : Laurent Picgirard, Adeline Laleuw, Denis Tixier, Arnaud Joffe

ADIV - 10 rue Jacqueline AURIOL – 63039 Clermont-Ferrand Cedex 02

E-mail de l'auteur correspondant : laurent.picgirard@adiv.fr

Les nitrates et nitrites permettent de préserver le goût, la couleur et la sécurité sanitaire des salaisons. Leur suppression ou leur réduction reste complexe et les extraits de levure peuvent être de bons candidats pour préserver les qualités organoleptiques des saucisses sèches.

Résumé

L'enjeu du projet conduit était de tester l'apport d'extraits de levure et le recours à des températures d'éétuvage basses (16°C) pour préserver la qualité organoleptique et la sécurité sanitaire de saucissons secs et saucisses sèches élaborées sans salpêtre ni nitrite de sodium. Une phase de sélection d'extraits en conditions expérimentales suivie d'une phase de test en environnement industriel ont permis de montrer que les extraits de levure étaient une solution technologique performante pour améliorer le goût des saucisses sèches sans conservateurs. L'application de l'éétuvage à $+16^{\circ}\text{C}$ en conditions industrielles a donné satisfaction au niveau technique mais sa mise en place nécessite de rallonger la durée de l'éétuvage de 24h à 36h pour obtenir le niveau de fleurissement désiré.

Abstract: Towards preservative-free dry sausages

This project aimed to evaluate the addition of yeast extracts and the use of low fermentation temperatures (16°C) to preserve the sensorial quality and food safety of dry sausages produced without potassium nitrate or sodium nitrite. A selection phase for yeast extracts under experimental conditions, followed by industrial-scale testing, demonstrated that these extracts constituted an effective technological solution for improving the taste of preservative-free dry sausages. Applying a fermentation temperature of $+16^{\circ}\text{C}$ under industrial conditions was satisfactory from a technical point of view, but its implementation requires extending the fermentation time from 24 hours to 36 hours to achieve the desired level of mold development on the sausages surface.

I. INTRODUCTION

Les nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2) sont utilisés en salaison afin de réduire le risque sanitaire vis-à-vis de certaines bactéries pathogènes mais également afin de stabiliser la couleur rouge caractéristique des saisons, limiter leur oxydation et participer à la richesse aromatique du produit par leur remarquable pouvoir antioxydant (Talon *et al.*, 2015 ; Honikel, 2008 ; Zhang *et al.*, 2023).

Or, le Centre international de recherche sur le cancer a classé en 2015 les viandes transformées, dont font partie les saucissons secs et assimilés, comme des aliments ayant un effet cancérogène certain pour l'homme (CIRC, 2015). L'ajout de salpêtre (KNO_3) ou de nitrite de sodium (NaNO_2) sous forme de sel nitrité dans les viandes transformées est jugé comme responsable de cet effet. Or, les saucissons secs et salamis sont des produits largement consommés, consommation qui représentait 76 908 tonnes en 2023 soit 11,8% de la consommation nationale de charcuteries et qui occupait la 4^{ème} place au rang des charcuteries les plus consommées en France (FranceAgrimer, 2023).

Malgré l'emploi de ces conservateurs, les professionnels de la salaison sèche sont confrontés à la gestion et la maîtrise des bactéries pathogènes et notamment la présence résiduelle de salmonelles ou de *Listeria monocytogenes* en fin de séchage. En l'absence de critères réglementaires dédiés, la maîtrise de la qualité microbiologique des matières premières reste un levier délicat pour les salaisonniers, pour s'affranchir de ces deux dangers microbiologiques compte tenu de la diversité des gammes des produits fabriqués et des performances variables de leurs fournisseurs comme des logistiques de livraison que ces derniers mettent en œuvre. Dans ce cadre, le salpêtre et le nitrite de sodium jouent un rôle capital pour limiter la prévalence de salmonelles et de *Listeria monocytogenes* dans les produits finis de type saucissons secs et globalement assurer leur sécurité sanitaire. Cet apport est d'autant plus important que le saucisson sec subit pendant son procédé d'élaboration, une étape d'étuvage qui consiste à chauffer le produit à une température de 24°C. Or, cette étape est reconnue comme promotrice de la croissance des bactéries pathogènes (Christeans *et al.*, 2018), notamment pour les produits traditionnels élaborées sans nitrite.

Depuis 2012, les professionnels de la charcuterie et de la salaison via leur fédération, la FICT (Fédération des Industriels Charcutiers, traiteurs, transformateurs de viandes) et leur interprofession

INAPORC, travaillent à la réduction/suppression des additifs nitrés dans les charcuteries et salaisons dont le saucisson sec et assimilés. Sur le plan sanitaire, les travaux menés ont permis via une première étude conduite en 2014 de réduire les doses maximales autorisées de salpêtre et de nitrite de sodium de 20%, tout en maintenant une sécurité sanitaire du produit satisfaisante vis-à-vis de *Salmonella spp* et *Listeria Monocytogenes* (APRIVIS, 2014 ; Christeans *et al.*, 2018). Afin de poursuivre la dynamique de R&D pour supprimer le risque sanitaire dans des produits sans nitrate/nitrite, l'ADIV a conduit le projet SALMOTEMP pour le compte d'INAPORC, qui a montré l'intérêt d'employer des températures d'étuvage plus basses pour maîtriser le danger Salmonelle dans des saucisses sèches fabriquées sans conservateurs (INAPORC, 2022).

Outre leur rôle sanitaire, les conservateurs permettent aussi de préserver la qualité organoleptique des saucissons secs, la salpêtre et le nitrite ayant un pouvoir antioxydant très puissant. Ainsi, l'absence de conservateurs se traduit souvent par des produits oxydés dont la couleur est grise, la saveur souvent qualifiée de « rance » ou anormale avec des notes de type « animales ». Or, ces défauts sont rédhibitoires pour le consommateur. De nombreuses recherches ont été conduites pour substituer le rôle anti-oxydant des nitrates ou des nitrites par des antioxydants végétaux (Gassara *et al.*, 2021) dans des produits de charcuterie : vin rouge, riche en anthocyanes et en tannin (Patarata *et al.*, 2020), oignon rouge, riche en anthocyane et quercétine (Santas *et al.*, 2010 ; Abdel-Salam *et al.*, 2024 ; Faluyi *et al.*, 2020), le romarin, riche en acide caféïque, l'acérola, riche en acide ascorbique (Aminzare *et al.*, 2019 ; Gubala *et al.*, 2021 ; Karwowska *et al.*, 2017), et le thé vert, riche en épicatechines (Kumudavally, 2008 ; Aminzare *et al.*, 2019). Il est à noter que l'extrait de thé vert est soumis à un usage réglementé et des conditions d'étiquetage strictes par le règlement 2022/2340 (UE, 2022) compte tenu de son effet sur la santé en cas de doses consommées importantes. De la même manière, au niveau toxicologique, l'apport d'antioxydants semble être en mesure de limiter le risque de cancer colorectal (Van Breda *et al.*, 2021). Dès lors, l'ADIV a investi dans des travaux de recherche financés par BPIFrance, visant à stabiliser la couleur et l'oxydation de saucissons sans nitrates/nitrites par l'apport d'antioxydants végétaux. Plus de 16 antioxydants avaient été testés (données internes non

publiées). Ces travaux ont permis d'identifier des solutions intéressantes mais qui ne se sont pas avérées suffisamment performantes pour préserver la couleur des saucissons secs de manière aussi stable que celle de témoins élaborés avec salpêtre ni pour conserver un goût jugé comme suffisamment acceptable. Par ailleurs, le statut réglementaire de ces antioxydants extraits de végétaux n'est pas encore défini puisque, hormis l'extrait de romarin, ils ne sont pas encore autorisés dans les produits de la famille des saucissons secs par le Code des usages de la charcuterie, de la salaison et des conserves de viandes qui régit les règles de fabrication de produits charcutiers français.

Les extraits de levure possèdent de remarquables propriétés antioxydantes (Yu, 2025 ; Tao *et al.*, 2023). Les composés polysaccharidiques (mannane et β -glucane) présents dans leur paroi cellulaire contribuent à ces propriétés grâce à leur capacité à

piéger les radicaux libres hydroxyles et les anions superoxyde. De plus, leur contenu cellulaire est naturellement plus ou moins riche en glutathion, antioxydant très puissant (Tao *et al.*, 2023). Leur emploi dans les saucisses sèches et saucisson secs en tant qu'arôme est prévu dans le code des usages. L'objectif du projet conduit par l'ADIV a été de tester différents extraits de levure afin d'évaluer leur capacité à préserver la couleur et l'arôme de saucisses sèches et saucissons secs élaborés sans conservateurs et de tester leur applicabilité en milieu industriel combiné à une diminution de température d'étuvage pour assurer une maîtrise sanitaire du procédé vis-à-vis de *Salmonella*. Le projet a été séparé en 2 phases. La première s'est attachée à tester 4 extraits de levure en conditions expérimentales ; la seconde a consisté à tester la solution la plus pertinente en environnement industriel.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Essais expérimentaux

Les essais expérimentaux ont été conduits sur la plate-forme expérimentale agréée CEE de l'ADIV. Au cours de ces essais, 4 extraits de levures provenant de différents fournisseurs ont été testés à la dose d'emploi recommandée par le fournisseur pour une application en tant qu'arôme (Tableau 1). Toutes les formulations ont été élaborées sans salpêtre, sans nitrite de sodium et avec 26 g/kg de sel, 2 g/kg d'acide ascorbique, 2 g/kg d'épices, 10 g/kg de sucres (mélange dextrose / lactose), un ferment bioconservateur avec effet anti-*Listeria* composé de *Lactobacillus curvatus* (référence B-LC48 de Chr Hansen®), et un ferment d'acidification composé d'une souche de *Lactobacillus curvatus* et d'une souche de *Staphylococcus xylosus* (référence MF55 de BIOVITEC®). Un témoin négatif sans

conservateur, sans antioxydants et sans extrait de levure a également été élaboré. Ce témoin a été élaboré volontairement sans antioxydants pour mesurer la plus-value aromatique permise par le cocktail acide ascorbique / extrait de levure. Il faut noter que l'emploi d'antioxydants a minima d'acide ascorbique est peu répandu dans les fabrications usuelles de saucisson sec qu'elles soient industrielles ou fermières. Les 5 essais ont été embossés dans deux types de boyaux : en format saucisse, sous menu de porc (partie de l'intestin grêle) de diamètre 38 mm et en format saucisson, sous chaudin de porc (partie du gros intestin) de diamètre 54/58 mm soit un total de 10 tests. Après embossage, tous les produits ont été trempés dans une solution de *Penicillium nalgiovensis*.

Tableau 1 : Descriptif des différents essais expérimentaux

Essai	Dose d'extrait de levure	Calibre
Témoin négatif sans conservateurs sans antioxydants	/	Saucisse (40mm) et saucisson (56mm)
Extrait de levure S6	2%	Saucisse (40mm) et saucisson (56mm)
Extrait de levure S1	2%	Saucisse (40mm) et saucisson (56mm)
Extrait de levure S2	0,5%	Saucisse (40mm) et saucisson (56mm)
Extrait de levure SF	2%	Saucisse (40mm) et saucisson (56mm)

L'ensemble des essais a été étuvés à +16°C durant 4 jours, contre 2 à 3 jours habituellement lorsque l'étuvage est pratiqué à 24°C, pour maîtriser le danger Salmonella. Après étuvage, les saucisses ont été séchées à +13°C jusqu'à atteindre 43% de perte de poids, les chaudins jusqu'à atteindre 45% de pertes. Un séchage plus poussé jusqu'à atteindre 46,7% de pertes a également été expérimenté sur les saucisses pour étudier l'impact du niveau de sèche sur la stabilité de couleur.

Au cours de la fabrication des produits, les cinétiques de perte de poids et de pH ont été suivies. Le pH et les pertes de poids ont été mesurés le jour d'embossage, en milieu d'étuvage, en fin d'étuvage, en cours de séchage et en fin de séchage. Une photographie des produits a été prise immédiatement après tranchage et après 20 h d'exposition à l'air dans une cabine à éclairage standardisé Packshot Start Mark2®. Les caractéristiques colorimétriques des produits ont été évaluées avec un chromamètre MINOLTA® CR410 (espace chromatique CIELAB, réflexion spéculaire incluse) immédiatement après tranchage et 20 h après exposition à l'air ($n=3$ / essai / échéance), afin de déterminer la teinte rouge a^* des produits, la teinte jaune b^* et l'angle de teinte h^* .

II.2. Essai en entreprise

Les essais en entreprise ont concerné deux formats de produits : saucisse sèche et saucisson, tous deux embossés avec les mêmes mélées. La finalité de ces essais était de comparer l'impact organoleptique de la formulation alternative développée lors des essais expérimentaux associé au processus d'étuvage à basse température à la formulation habituelle de l'entreprise. Deux conditions ont donc été testées. La première correspond au témoin positif, c'est-à-dire à la fabrication habituelle de l'entreprise élaborée avec un mélange apporté à hauteur de 32,9 g/kg et composé de 75,5% de sel, 15,8% de sucres (mélange dextrose / saccharose), de 7,9% d'épices (poivre noir et ail) et 0,7% de salpêtre (soit 193 ppm de NaNO₃). Cette fabrication intègre un ferment d'acidification rapide composé de 50% de *Lactobacillus* (2 souches) et de 50% de *Staphylococcus* (2 souches) et a été étuvée à 24°C. La seconde correspond à la formulation alternative élaborée avec un mélange fonctionnel identique à celui utilisé par l'entreprise mais sans conservateur auquel l'extrait de levure sélectionné à la suite des essais expérimentaux a été ajouté ainsi que le ferment bioconservateur avec effet anti-Listeria. Ce ferment bioconservateur n'a pas été apporté dans la formulation témoin pour éviter que

Enfin, une analyse sensorielle a été organisée sur les saucisses et saucissons en fin de séchage par un panel de 6 dégustateurs ADIV. Seules les saucisses ayant atteint la perte de poids de 43% et les saucissons celle de 45% ont été dégustées. Chaque produit a été noté selon 5 critères : intensité de couleur rouge notée de 1 à 5, intensité du goût positif de saucisson noté de 1 à 5, texture sèche notée de 1 à 5, texture croutée notée de 1 à 5, note d'appréciation globale notée de 1 à 10.

Une ANOVA a été réalisée pour déterminer si les différences mesurées sur les paramètres de colorimétrie et les paramètres sensoriels étaient statistiquement significatives à l'aide du logiciel XLSTAT®. Pour chaque ANOVA, la significativité des différences observées est codée de la manière suivante : NS (aucune différence significative entre les moyennes), tend (tendance à une différence entre les moyennes sans l'être), x (différence significative entre les moyennes avec un risque d'erreur compris entre 1% et 5% ($0,01 < p < 0,05$)), xx (différence significative entre les moyennes avec un risque d'erreur compris entre 0,1% et 1% ($0,001 < p < 0,01$)), xxx (différence significative entre les moyennes avec un risque d'erreur inférieur à 0,1% ($p < 0,001$))).

ses qualités organoleptiques ne soient altérées par l'apport de ce ferment.

Les saucisses et saucissons élaborés avec la formulation alternative ont été étuvés à +16°C. Avant étuvage, ni les témoins, ni les essais n'ont été trempés dans une solution de fleur "commerciale", l'entreprise produisant des saucissons secs avec fleur naturelle.

En fin de séchage, les produits finis ont été soumis à des analyses microbiologiques, chimiques et sensorielles. Les analyses microbiologiques ont concerné le dénombrement des entérobactéries (norme NF ISO 21528-2), des bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR, Norme EN ISO 15213) ? deux familles bactériennes réputée être altérantes voire pathogènes pour certaines espèces rattachées à elles. Les dénombremens des entérobactéries et des ASR ont été effectués sur 2 échantillons de chaque format de produit, les dénombremens de Listeria et les recherches de salmonelles sur 5 échantillons.

Au niveau sensoriel, les produits ont été photographiés puis dégustés par un panel de 5 dégustateurs ADIV en évaluant 4 des 5 indicateurs sensoriels utilisés dans les essais expérimentaux : intensité de couleur rouge, intensité du goût positif de saucisson, texture sèche notée, note d'appréciation globale. Enfin, la couleur des produits finis a été

caractérisée à l'aide d'un chromamètre Minolta® CR410 immédiatement après tranchage et 72 h après exposition à l'air et non 20h comme lors des essais expérimentaux. Des pré-essais effectués en amont ont en effet montré que l'altération de la couleur des produits évoluait beaucoup lors des premières heures d'exposition des produits mais n'évoluait plus entre

20h et 72h. La teneur en pigments nitrosylés et la teneur en pigments totaux a été quantifiée sur les saucissons uniquement à l'aide de la méthode de Hornsey (Hornsey, 1956) sur 3 échantillons. Sur la base de ces deux dosages, le rapport entre le taux de pigments nitrosylés et celui de pigments totaux a été calculé pour déterminer le taux de nitrosylation (%).

III. RÉSULTATS

III.1. Essais expérimentaux

Les mélées à l'embossage (J0) sont globalement acides avec un pH moyen de 5,51 (Figures 1 et 2). Ce résultat est probablement dû à l'emploi d'un lot de viande acide. En conséquence, les pH minima en fin d'acidification sont bas pour les saucisses comme pour les saucissons avec une valeur moyenne à 4,85 pour les saucisses et 4,80 pour les saucissons. En ce qui concerne la remontée de pH, celle-ci est plus rapide et atteint des valeurs plus élevées pour les essais contenant des extraits de levures comparativement au témoin négatif. L'extrait de

levure S1 se distingue des autres essais pour les deux formats de produits car il ralentit et limite significativement l'acidification ($p<5\%$). Les extraits de levure testés n'ont pas eu d'impact sur la perte de poids des saucisses et saucissons. La durée de séchage moyenne des saucisses a été de 20 jours pour atteindre 43% de pertes de poids sans séchage complémentaire et de 28 jours avec séchage complémentaire pour atteindre 47% de pertes de poids. La durée de séchage nécessaire pour atteindre 45% de pertes de poids pour les saucissons a été de 37 jours.

Figure 1 : Evolution du pH des saucisses élaborées en conditions expérimentales avec les différents extraits de levure indiqués dans le Tableau 1

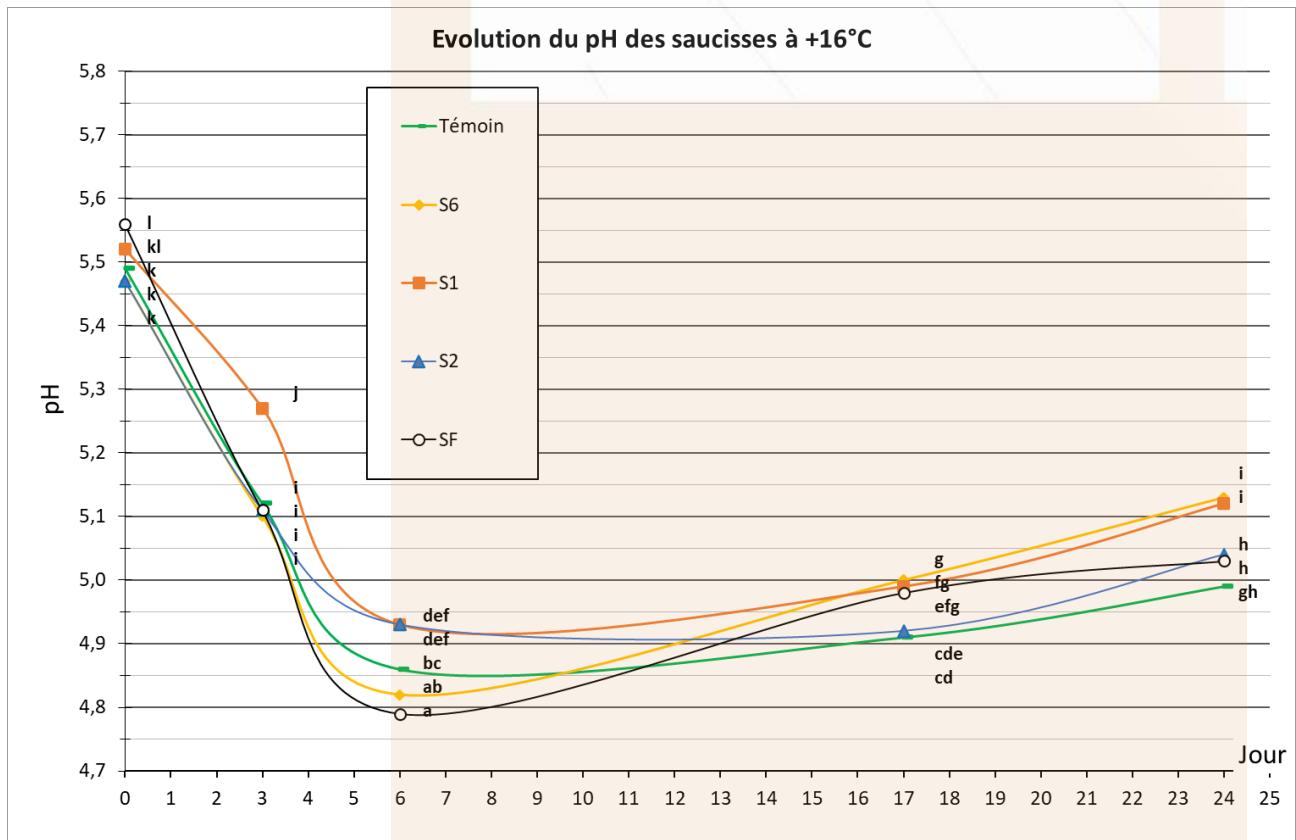
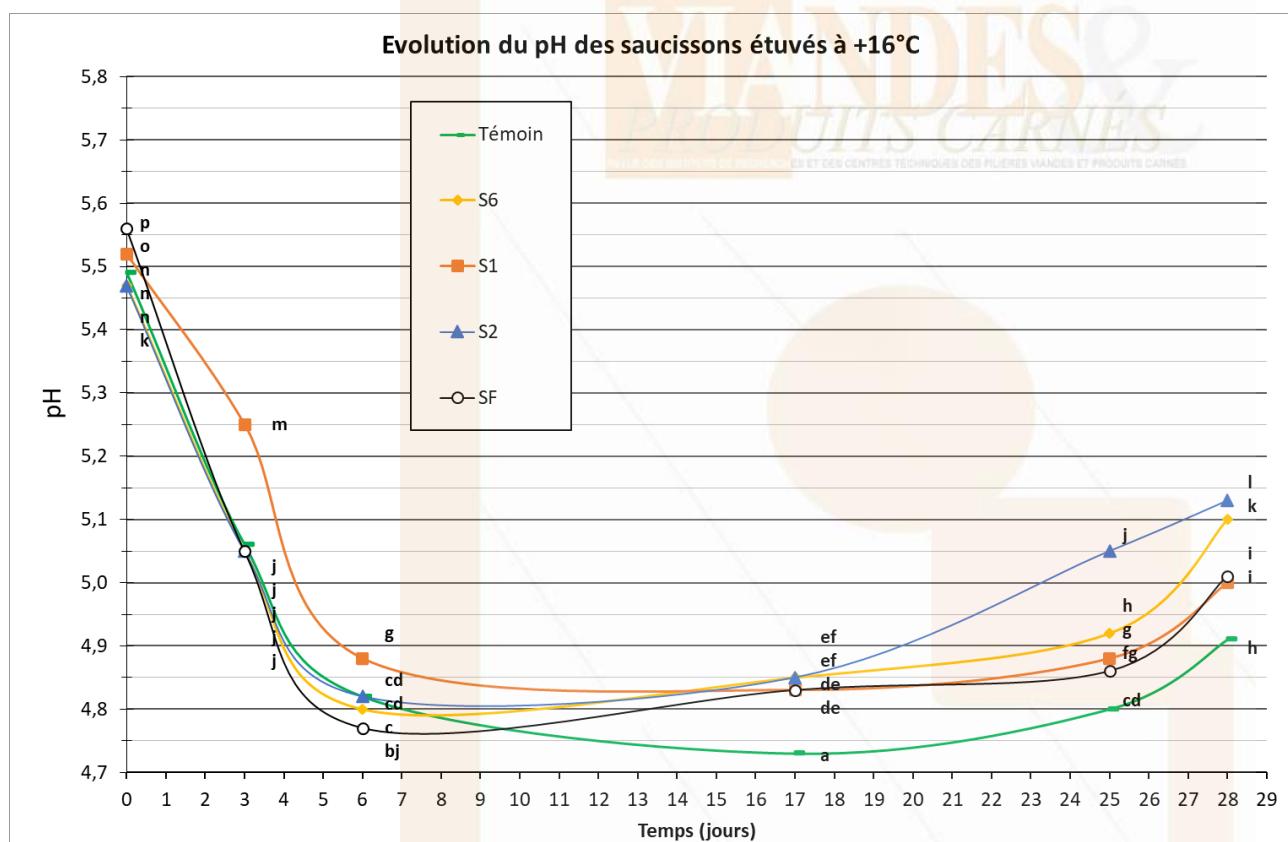


Figure 2 : Evolution du pH des saucissons élaborés en conditions expérimentales avec les différents extraits de levure indiqués dans le Tableau 1



L'aspect des 5 essais de saucisson est satisfaisant immédiatement après tranchage. En revanche, après 20h d'exposition à l'air, seuls les essais S1 et SF gardent un visuel acceptable (Figure 3). Comme pour les saucissons, l'aspect des 5 essais de saucisses sèches est satisfaisant immédiatement après tranchage et seuls les essais S1 et SF gardent un visuel acceptable après 20h d'exposition à l'air (Figure 4). Immédiatement après tranchage, la teinte rouge a^* des saucisses est de $13,1 +/- 1$ en moyenne et l'angle de teinte h^* , $20,3 +/- 3,1$. Après exposition à l'oxygène de l'air, la teinte rouge a^* de tous les essais de saucisses diminue significativement ($p<0,1\%$) à $6,4 +/- 0,5$ en moyenne et l'angle de teinte h^* augmente ($p<0,1\%$) à $40,3 +/- 3,9$ en moyenne : les produits s'assombrissent. L'essai SF garde les caractéristiques les plus acceptables ($p<5\%$) par rapport aux autres essais et semble avoir une meilleure résistance à l'oxydation (Tableau 2). Le séchage complémentaire à 47% n'a pas d'effet

bénéfique sur les indicateurs de couleur. Il contribue globalement à détériorer significativement ($p<0,1\%$) les valeurs de a^* qui passent d'une valeur moyenne de $10,1 +/- 3,6$ à $9,6 +/- 3,3$ et de h^* qui diminuent de $31,9 +/- 10,5$ à $28,7 +/- 10,8$, évolutions qui même si elles sont significatives, restent faibles.

Pour les saucissons, la teinte rouge a^* immédiatement après tranchage, vaut $15,1 +/- 1,0$ en moyenne et l'angle de teinte h^* , $20,6 +/- 2,4$. Après exposition à l'oxygène, la teinte rouge a^* de tous les essais diminue significativement à une valeur moyenne de $7,9 +/- 1,9$ et l'angle de teinte h^* augmente à $41,8 +/- 8,1$ ($p<0,1\%$), synonymes d'un grisonnement des produits. Dans ce cadre, les essais S1 et SF gardent les caractéristiques les plus acceptables avec les valeurs de a^* le plus élevées et de h^* les plus faibles ($p<5\%$), synonyme d'une meilleure résistance à l'oxydation (Tableau 3).

Figure 3 : Aspect des saucisson secs élaborés en conditions expérimentales après séchage immédiatement après tranchage et après 20 h d'exposition à l'air



Figure 4 : Aspect des saucisses sèches élaborées en conditions expérimentales après séchage usuel (43% de pertes) ou complémentaire (47% de pertes), immédiatement après tranchage et après 20 h d'exposition à l'air

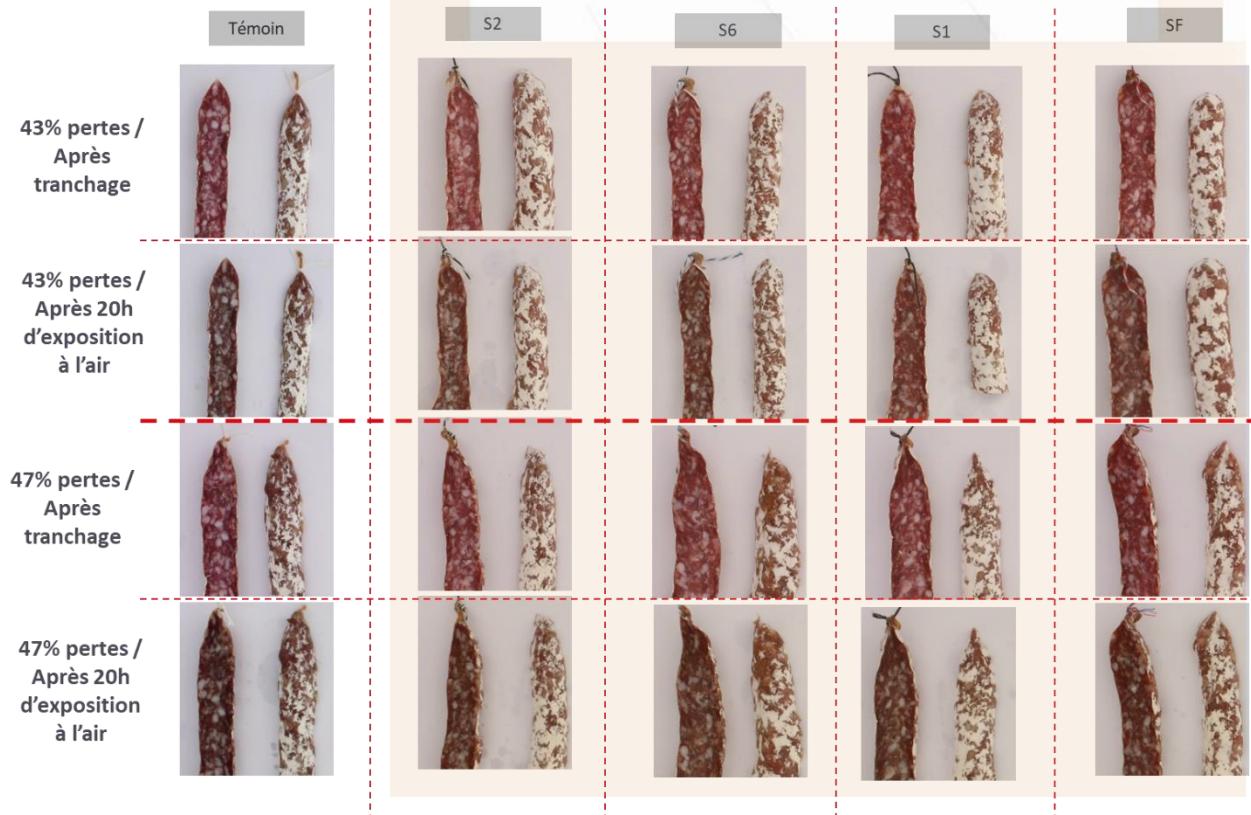


Tableau 2 : Caractéristiques colorimétriques moyennes des essais de saucisses en conditions expérimentales

Modalité	Teinte rouge a*	Teinte jaune b*	Angle de teinte h*
SF	10,4 c	5,1 b	28,3 a
S1	10,2 c	5,6 c	31,3 b
S6	9,6 b	5,8 c	33,4 c
S2	9,6 b	4,9 ab	29,5 ab
Témoin	9,0 a	4,5 a	28,9 a
p-value (effet recette)	<0,001	<0,001	<0,001
Significativité	***	***	***

p-value : probabilité d'erreur du test d'ANOVA. Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

Tableau 3 : Caractéristiques colorimétriques moyennes des essais de saucissons en conditions expérimentales

Modalité	Teinte rouge a*	Teinte jaune b*	Angle de teinte h*
S1	13,4 d	6,9 d	28,3 a
SF	12,3 c	6,3 bc	28,2 a
S6	10,8 b	6,7 cd	35,0 b
S2	11,2 b	5,8 ab	29,8 a
Témoin	9,7 a	5,7 a	34,7 b
p-value (effet recette)	<0,001	0,001	<0,001
Significativité	***	***	***

Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

Sur le champ des caractéristiques sensorielles, une dégustation préliminaire a été effectuée sur l'ensemble des essais et a conduit à éliminer *de facto*, la solution S6 dont le goût était totalement inadapté et incohérent avec les standards habituels d'un saucisson ou d'une saucisse sèche. La dégustation des solutions mises en œuvre sur les saucisses n'a pas mis en évidence de différences significatives sur l'ensemble de critères évalués : intensité de la couleur rouge, caractère croûté, intensité du goût positif, texture sèche et appréciation globale (Tableau 4). L'appréciation sensorielle des saucissons comme pour les saucisses sèches, ne met pas en évidence de

différences significatives ($p>5\%$) sur les critères intensité de la couleur rouge, caractère croûté, intensité du goût positif, texture sèche et note globale (Tableau 5). L'appréciation globale des saucissons présente malgré tout, une tendance à avoir des différences sans l'être statistiquement ($p=6,4\%$). S2 ressort comme la solution à privilégier pour l'appréciation organoleptique (moyenne de 7,0 sur 10). S1 est la solution la moins performante parmi celles proposées avec une note d'appréciation globale moyenne de 4,3 sur 10. La solution SF et le témoin sont similaires avec des moyennes respectives de 6,1 et 5,7 sur 10.

Tableau 4 : Caractéristiques sensorielles des essais en entreprise de saucisses après une perte de poids de 43%

Modalité	Couleur rouge	Caractère croûté	Texture sèche	Gout positif	Note globale
S2	3,5 a	2,2 a	3,3 a	3,8 a	6,5 a
Témoin	3,4 a	2,2 a	3,3 a	2,7 a	5,9 a
SF	3,63 a	2,4 a	3,7 a	3,8 a	5,7 a
S1	4,0 a	2,6 a	3,7 a	2,8 a	4,2 a
p-value (effet extrait)	0,867	0,930	0,702	0,104	0,139
Significativité	NS	NS	NS	NS	NS

Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

Tableau 5 : Caractéristiques sensorielles des essais en entreprise de saucissons après une perte de poids de 45%

Modalité	Couleur rouge	Caractère croûté	Texture sèche	Goût positif	Note globale
S2	3,0 a	2,2 a	3,5 a	3,9 a	7,0 a
Témoin	3,4 a	2,2 a	3,7 a	3,0 a	6,1 a
SF	3,6 a	2,4 a	3,5 a	3,8 a	5,7 a
S1	3,8 a	2,6 a	3,5 a	3,2 a	4,3 a
p-value (effet extrait)	0,947	0,930	0,955	0,238	0,064
Significativité	NS	NS	NS	NS	Tend

Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

En conclusion, les meilleures stabilités de couleur ont été obtenues avec les solutions SF et S1. Le comportement du produit S1 peut s'expliquer par sa cinétique de chute de pH moins rapide, les pH bas étant plus favorables à l'oxydation des produits. Toutefois, au niveau sensoriel, c'est la solution S2 qui obtient les meilleures performances sur le champ de l'appréciation globale et du goût pour les saucissons. Le séchage complémentaire de 43% à 47% de pertes de poids testé sur les saucisses n'a pas

amené de plus-values à la stabilité de couleur des saucisses. Les performances de l'extrait de levure S2 en termes de stabilité de couleur n'étaient pas optimales. En revanche, les caractéristiques sensorielles attendues pour un saucisson sec sans conservateur en particulier le goût ont été retenus et de ce point de vue, l'extrait de levure S2 représentait le meilleur compromis. Il a donc été retenu pour effectuer les essais en environnement industriel.

III.2. Essais en entreprise

Les durées de séchage pratiquées ont été plus longues que les durées usuelles : 20 jours versus 14 à 18 jours habituellement pour les saucisses et 41 jours versus 35 jours usuellement pour les saucissons. Les pH après étuvage des saucissons valaient 4,95 contre 5,07 pour les saucisses sont des valeurs usuelles. Après séchage, ces pH sont remontés à des valeurs respectives de 5,42 et 5,62.

L'aspect des saucisses sèches et saucissons au tranchage est rouge et attrayant, sans différence notable avec le témoin positif (Figure 5). Après 72 h d'exposition à l'air, leur couleur s'oxyde de manière plus marquée que le témoin pour les deux calibres. Comme l'ont montré les photographies, la teinte rouge a^* et l'angle de teinte h^* des saucisses ou des saucissons au moment du tranchage, (Tableau 6) sont comparables à ceux des témoins ($p<5\%$). Après 3 jours d'exposition à l'air la teinte rouge a^* des essais est significativement plus bas que celle des témoins avec des valeurs moyennes de 5,7 et 4,8 pour les saucisses et saucissons, respectivement, contre 8,4 et 8,3 pour les témoins. De la même manière, l'angle de teinte h^* augmente à des valeurs significativement plus élevées en absence de conservateurs ($p<5\%$) passant en moyenne de 25,5 et 31,8 pour les saucisses et saucissons à 51,3 et 56,8, alors que celui des témoins passe de 25,4 pour les saucisses et 30,2 pour

les saucissons à 38,8 et 41,1, respectivement, après exposition à l'air. L'extrait de levure n'a donc pas permis de préserver la couleur, ce qui n'est pas incohérent avec les résultats obtenus lors des essais expérimentaux. La dégradation de la couleur est d'ailleurs plus marquée pour les saucissons que les saucisses ($p=0,02$ pour la teinte rouge a^* et $p=0,001$ pour l'angle de teinte h^*). La chute de pH plus ample des saucissons est probablement la cause de leur moindre stabilité de couleur.

Au niveau microbiologique, les dénombremens des entérobactéries et des ASR effectués sur chaque famille de produits sont inférieurs ou égaux au seuil de détection de 10 ufc/g. Il faut toutefois interpréter ces résultats avec précaution. D'une part, ils n'ont été acquis que sur une fabrication et un lot de matières premières. Plusieurs fabrications seraient nécessaires pour valider de manière robuste l'efficacité sanitaire du procédé et de la combinaison de l'étuvage à froid associé à l'apport de ferment bioconservateur vis-à-vis des flores. De plus, des tests de croissance au sens de la norme NF EN ISO 20976-1, définissant les exigences et lignes directrices pour la réalisation des tests de croissance sont nécessaires afin de valider l'innocuité des formulations ou de procédés de fabrication vis-à-vis des dangers *Listeria monocytogenes* et *Salmonella*.

Figure 5 : Aspect des saucissons secs et saucisses sèches élaborés en entreprise après séchage immédiatement après tranchage et après 72 h d'exposition à l'air

Au tranchage



Tableau 6 : Teinte rouge a* et angle de teinte h*des saucissons et saucisses sèches élaborées en entreprise après séchage, immédiatement après tranchage et après 72 h d'exposition à l'air

	Teinte rouge a*		Angle de teinte h*		
	Saucisse	Saucisson	Saucisse	Saucisson	
Après tranchage	Témoin	15,7 (d)	13,5 (cd)	25,4 (a)	30,2 (ab)
	Essai	14,8 (d)	11,8 (c)	25,5 (a)	31,8 (b)
72h Après tranchage	Témoin	8,4 (b)	8,3 (b)	39,8 (c)	41,1 (c)
	Essai	5,7 (a)	4,8 (a)	51,3 (d)	56,8 (e)

Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

Comme précisé dans la partie « matériels et méthodes », le dosage des pigments totaux et nitrosylés n'a été effectué que sur les saucissons. La teneur en pigments nitrosylés de la formulation "Essai" élaborée par l'entreprise est de 40 +/- 1 ppm (63 +/- 2 µM) soit un taux de nitrosylation de 44%. Cette valeur est surprenante car elle est proche de celle mesurée pour les témoins avec conservateurs dont la teneur en nitrosomyoglobine était de 50 +/- 2 ppm (80 +/- 2 µM), soit un taux de nitrosylation de 50%. Les valeurs usuelles mesurées par l'ADIV dans le cadre de ses activités analytiques sont proches de 20 ppm pour des saucissons sans conservateurs et de 60 à 70 ppm pour des produits en contenant, ce qui est confirmé par la bibliographie avec des taux de nitrosylation mesurés de 21% pour des saucissons secs sans conservateur et de 54% pour ceux élaboré avec 200 ppm de NaNO₃ (Bonifacie *et al.*, 2021). La méthode de dosage des pigments nitrosylés semble ne pas être appropriée en présence de l'extrait de levure de la formulation "Essai" sans que celle-ci ne

contienne pourtant de dérivés nitrés. C'est un point de vigilance dont il faudra essayer de comprendre l'origine car ces saucissons élaborés sans salpêtre ni nitrite de sodium pourraient être confondus avec des produits en contenant sur la base de ce seul dosage des pigments nitrosylés. La formation de ZnPP (zinc-protoporphyrine IX), pigment naturel caractéristique des salaisons sans conservateurs (Wakamazu *et al.*, 2004) pourrait être à l'origine de ce dépassement même si sa teneur n'est pas réputée élevée dans les saucissons secs, comparativement à celle de jambons secs, compte tenu de leur courte durée de fabrication (De Maere *et al.*, 2016). La teneur en ZnPP n'a pas été contrôlée dans notre étude.

Enfin, l'évaluation sensorielle des saucissons (Tableau 7) n'a montré aucune différence significative entre le témoin et l'essai sur les 4 indicateurs évalués : intensité de la couleur rouge, texture sèche, intensité du goût positif et note globale. Seule l'appréciation globale tend à être différente ($p=6\%$) à la faveur des produits témoin malgré

L'apport de la solution technologique de substitution sur les essais. L'appréciation globale reste malgré tout correcte puisqu'elle est de 7,4 sur 10 en moyenne pour l'essai contre sur 9 sur 10 pour le témoin. Lors de l'évaluation sensorielle des saucisses sèches (Tableau 7), aucune différence significative entre l'essai et le témoin n'a été perçue sur les indicateurs, texture sèche, intensité du goût positif et intensité de la couleur rouge. En revanche, à l'inverse de l'évaluation faite sur les saucissons, les saucisses sèches "essai" ont été significativement plus appréciées que les saucisses sèches "témoin"

($p=0,1\%$). Leur appréciation globale est excellente puisqu'elle est de 8,8 sur 10 en moyenne.

Les résultats acquis en environnement industriel sont donc globalement positifs notamment pour la saucisse mais des améliorations doivent encore être apportées aux saucissons pour atteindre un niveau d'acceptabilité sensoriel comparable à une formulation avec conservateurs. L'apport d'extrait de levure combiné à un étuvage à 16°C semble être une solution d'intérêt pour développer des saucisses sèches sans conservateurs.

Tableau 7 : Evaluation sensorielle des saucisses et saucissons, secs élaborés en entreprise

	Modalité	Intensité couleur rouge	Intensité gout positif	Texture sèche	Note globale
Saucisses	Essai	3,70 a	3,30 a	3,400 a	8,81 b
	Témoin	3,50 a	3,60 a	3,70 a	6,25 a
	p-value	0,570	0,62	0,442	0,001
	Significativité	NS	NS	NS	**
Saucisson	Essai	3,88 a	3,38 a	2,63 a	7,44 a
	Témoin	3,750 a	4,00a	3,00 a	9,00 a
	p-value	0,791	0,213	0,348	0,062
	Significativité	NS	NS	NS	Tend

Deux lettres différentes dans une même colonne symbolisent une différence significative des moyennes

IV. CONCLUSION

L'enjeu de cette étude était de développer des connaissances et de tester deux stratégies technologiques permettant de réduire voire supprimer l'emploi des conservateurs nitrés (salpêtre et/ou sel nitrité) dans les saucissons et saucisses sèches et, ainsi réduire l'exposition des populations à ces additifs tout en préservant la qualité organoleptique des produits : l'apport d'extrait de levure et le recours à une température d'étuvage de 16°C.

Cette étude a permis de montrer que les extraits de levure étaient une solution technologique performante pour améliorer le goût des saucisses sèches sans conservateurs (note d'acceptabilité de 8,8 sur 10). Les résultats ne sont pas optimaux pour le saucisson sec (note d'acceptabilité de 7 sur 10), pour lequel des améliorations doivent être apportées pour accéder à un niveau d'acceptabilité comparable à une formulation avec conservateurs. Les tests ont montré que le dosage des pigments nitrosylés sur des saucissons élaborés avec extrait de levure devait être interprété avec prudence. La présence d'extrait de levure tend à faire augmenter artificiellement cet indicateur. L'hypothèse de la formation de ZnPP,

pigment naturel caractéristique des salaisons sans conservateurs a été avancée comme cause possible de la perturbation de l'analyse. Par la seule mesure de la teneur en pigments nitrosylés, le produit sans conservateurs risquerait ainsi d'être confondu avec un saucisson sec en contenant. Il faut donc développer un indicateur alternatif à la méthode actuelle de dosage des pigments nitrosylés différenciant formes nitrosylées et ZnPP. Concernant le second verrou, l'application de l'étuvage à +16°C en conditions industrielles a donné satisfaction au niveau technique mais sa mise en place nécessite de rallonger la durée de l'étuvage de 24h à 36h pour obtenir le niveau de fleurissement désiré. Il impliquerait donc pour les entreprises désireuses de l'adopter des investissements pour augmenter les surfaces d'étuvage de leur outil de production.

Cette étude a été conduite grâce au soutien financier de la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) Auvergne-Rhône-Alpes (fonds DINAI : Dispositif National d'Aide à l'Investissement Immatériel pour les entreprises agroalimentaires).

Bibliographie

- Abdel-Salam, A. F., Shahenda, M. E., & Jehan, B. A. (2014). Antimicrobial and antioxidant activities of red onion, garlic and leek in sausage. *African Journal of Microbiology Research*, 8(27), 2574-2582.
- Aminzare M., Hashemi M., Ansarian E., Bimakr M., Hassanzad Azar H., Mehrasbi M. R., Daneshamooz S., Raeisi M., Janna B., Afshari A. (2019). Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: A review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(5), 417-426.
- APRIVIS (2014). Comportement des salmonelles au cours du procédé de fabrication et de la conservation des saucissons secs de ménage. Rapport d'études. 46 pages
- APRIVIS (2024). LISTEMP : Impact des basses températures sur la sécurité sanitaire des saucisses sèches à teneurs réduites en conservateurs vis-à-vis de Listeria monocytogenes. Rapport d'études. 34 pages
- Bonifacie A., Gatellier P., Promeyrat A., Nassy G., Picgirard L., Scislawski V., Santé-Lhoutellier V., Théron L. (2021). New Insights into the Chemical Reactivity of Dry-Cured Fermented Sausages: Focus on Nitrosation, Nitrosylation and Oxidation. *Foods*, 10, 852
- Christieans, S., Picgirard, L., Parafita, E., Lebert, A., & Gregori, T. (2018). Impact of reducing nitrate/nitrite levels on the behavior of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in French dry fermented sausages. *Meat Science*, 137, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.11.028>
- CIRC (2015). Le programme des Monographies du CIRC évalue la consommation de la viande rouge et des produits carnés transformées. Communiqué de presse n°240. 2 pages. https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr240_F.pdf
- De Maere, H., Fraeye I., De Mey, E., Dewulf L., Paelinck, H., Michiels C., Chollet S. (2016). Formation of naturally occurring pigments during the production of nitrite-free dry fermented sausages. *Meat Science*, 114, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.024>
- Faluyi, O. B., Akintomide, A. A., & Onibi, G. (2020). Antimicrobial and antioxidant effects of red onion (*Allium cepa*) on unrefrigerated broiler chicken meat. *Animal Research International*, 17(2), 3665-3673.
- Fu Y. (2025). Advances in Food and Nutrition Research, Chapter Two - Yeast extract as a more sustainable food ingredient: Insights into flavor and bioactivity, volume 114, pages 97-147 <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2024.09.002>
- Gassara, F., Kouassi, A. P., Brar, S. K., & Belkacem, K. (2016). Green alternatives to nitrates and nitrites in meat-based products—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(13), 2133-2148.
- Gubała, D., & Migdał, W. (2021). The use of dried acerola as a substitute for ascorbic acid in cured meats. *Journal of Hygienic Engineering & Design*, 37, 166-173.
- Honikel, K.O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78, 68–76.
- Hornsey, H.C. (1956). The colour of cooked cured pork—Estimation of the Nitric oxide-Haem Pigments. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7, 534–540.
- INAPORC (2022). SALMOTEMP - Exploration de basses températures de fermentation pour réduire le risque salmonella dans les charcuteries sèches à teneurs réduites en nitrites. Rapport d'études, 54 pages.
- Karwowska M., Dolatowski Z.J., 2017. Effect of acid whey and freeze-dried cranberries on lipid oxidation and fatty acid composition of nitrite-/nitrate-free fermented sausage made from deer meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 30,1, 85-93
- Kumudavally, K.V., Phanindrakumar, H.S., Tabassum, A., Radhakrishna, K., & Bawa, A.S. (2008). Green tea—A potential preservative for extending the shelf life of fresh mutton at ambient temperature (25±2 °C). *Food chemistry*, 107(1), 426-433.
- Patarata L., Martins S., Silva J.A., Fraqueza M.J. (2020). Red Wine and Garlic as a Possible Alternative to Minimize the Use of Nitrite for Controlling *Clostridium Sporogenes* and *Salmonella* in a Cured Sausage: Safety and Sensory Implications. *Foods*, 9, 206
- Santas, J., Almajano Pablos, M.P., & Carbó Moliner, R. (2010). Onion, a natural alternative to artificial food preservatives. *Review. Agro food industry hi-tech*, 21(5), 44-46.
- UE (2022). Règlement (UE) 2022/2340 de la Commission du 30 novembre 2022 modifiant l'annexe III du règlement (CE) no 1925/2006 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les extraits de thé vert contenant du (-)-3-gallate d'épigallocatéchine . <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R2340>
- Talon R., Leroy S., Vermassen A., Christieans S. (2015). Réduction des nitrates, nitrites dans les produits carnés : quelles conséquences ? Quelles solutions. *Innovation agronomique* 44, 25-34
- Tao Z., Yuan H., Liu M., Liu Q., Zhang S., Liu H., Jiang H., Huang D., Wang T. (2023). Yeast Extract: Characteristics, Production, Applications and Future Perspectives. *Journal of Microbiololgy and Biotechnology*, 33(2), 151–166
- Van Breda S., Mathijs K., Pieters H.J., Sági-Kiss V., Kuhnle G. G., Georgiadis P., Saccani G., Parolari G., Virgili R., Sinha R., Hemke G., Hung Y., Verbeke W., Masclée A., Vleugels-Simon C., Van Bodegraven A., de Kok T.M., and on behalf of the PHYTOME consortium (2021). *Molecular Nutrition Food Research*, 65, 2001214
- Wakamatsu J.I., Nishimura T., Hattori A. (2004). A Zn-porphyrin complex contributes to bright red color in Parma ham. *Meat Science*, 67, 95-100.
- Zhang Y., Zhang Y., Jia J., Peng H., Qian Q., Pan Bz., Liu D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives; *Current Research in Food Science*, 6, 100470.