



Le procédé par Hautes Pressions appliqué aux produits carnés

Effets des Hautes Pressions sur les produits carnés : développement industriel et potentialités

Mots-clés : Hautes Pressions, Impact sanitaire, Impact organoleptique, Développement industriel

Auteurs : Laurence Pottier¹, Claire Guyon¹, Anja Rakotondramavo¹, Gina Villamonte¹, Cécilia Arnaud¹, Marie de Lamballerie¹

¹ GEPEA UMR-CNRS 6144, ONIRIS, rue de la Géraudière, CS 82225, 44322 Nantes Cedex 3, France

* E-mail de l'auteur correspondant : marie.de-lamballerie@oniris-nantes.fr

Le procédé par Hautes Pressions connaît une croissance importante dans le domaine agroalimentaire depuis le début des années 1990. Cet article propose une synthèse de l'effet du procédé par Hautes Pressions sur les produits carnés et son développement industriel.

Résumé :

Le procédé par Hautes Pressions connaît un développement important depuis 25 ans. Son application aux produits à base de viande et de poisson permet un allongement de la conservation à l'état réfrigéré tout en minimisant les modifications organoleptiques. En effet, un traitement de quelques minutes à 500 MPa entraîne une diminution importante des flores de contamination.

En 2015, on recense 315 appareils industriels dans le monde destinés à traiter des produits alimentaires, plus de 30% de ces appareils traitent des produits carnés et de la mer. En Europe, ce procédé est appliqué en particulier à des produits de charcuterie crue ou cuite, des tapas, des filets de poissons crus et plus récemment (automne 2016) des produits transformés à base de saumon. Cet article propose une synthèse de l'effet du procédé par Hautes Pressions sur les produits carnés et son développement industriel.

Abstract: High Pressure Processing for meat products

An important development of High Pressure Processing has been observed for 25 years. Its application to meat and fish products allows extended shelf life without organoleptic changes. Indeed, a high pressure treatment for several minutes at 500 MPa causes a significant decrease of flora.

In 2015, 315 industrial devices for food product processing are in operation, among them 30% treated meat and sea products. In the European meat industry, High Pressure is applied to raw or cooked hams, tapas, raw fish fillets and more recently (autumn 2016) to processed salmon products. This article proposes a review of the effect of High Pressure on meat products, and its industrial development.

INTRODUCTION

L'existence d'un effet des Hautes Pressions sur les microorganismes et les constituants des aliments est connue depuis la fin du XIX^{ème} siècle sans pour autant avoir abouti à un développement industriel rapide de ce procédé.

Ainsi le développement industriel du procédé Hautes Pressions dans les industries agroalimentaires remonte seulement aux années 80 et aboutit en 1990 au premier produit stabilisé par Hautes Pressions commercialisé au Japon (produits à base de fruits).

Parallèlement, en Europe et particulièrement en France, le règlement Novel Food de 1997 (Règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil) a plutôt eu tendance à ralentir le développement de ce procédé. Dans ce cadre législatif, seules les préparations à base de fruits traitées par Hautes Pressions peuvent être commercialisées. Cependant depuis quelques années, l'ANSES a édité plusieurs saisines dont une en 2010 stipulant que les aliments emballés traités par Hautes Pressions dans certaines conditions ne rentrent

plus dans le cadre du règlement Novel Food (Saisine n°2010-SA-0193). Le nouveau règlement européen sorti fin 2015 (Règlement (UE) n° 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil) et dont la mise en application est prévue pour le 1^{er} janvier 2018 doit aussi permettre de faciliter le développement de cette technologie puisque celui-ci a pour objectif de simplifier les procédures et réduire les délais d'autorisation de mise sur le marché des produits. Sur la même période, aux États-Unis et au Canada, le procédé Hautes Pressions a été autorisé dans la production de produits carnés prêts à consommer, afin de maîtriser le danger associé à *Listeria monocytogenes* ("*Listeria free*").

Face à la demande croissante des consommateurs pour des produits plus sains, faiblement transformés, les industriels s'adaptent tout en maintenant la qualité sanitaire et la durée de conservation de leurs produits. Les Hautes Pressions peuvent constituer une réponse à ce double objectif.

I. LE PROCÉDE HAUTES PRESSIONS : PRINCIPE ET DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Le procédé Hautes Pressions fonctionne de façon discontinue sur un produit préalablement emballé, le plus souvent sous-vide. Le produit est introduit dans l'enceinte de traitement (horizontale, de volume interne variant de 50 à 525 L pour les enceintes industrielles). Par la suite, l'enceinte est remplie avec de l'eau puis mise sous pression par utilisation d'une pompe Hautes Pressions pouvant injecter de l'eau jusqu'à des pressions de 600 MPa (6000 bars). La pression est ensuite maintenue pendant une certaine durée (usuellement 3 à 6 minutes en industrie) et, à la fin du temps de maintien, l'ouverture d'une vanne provoque une dépressurisation quasi-instantanée de l'enceinte. L'ensemble du procédé est réalisé à une température comprise entre 4 et 20 °C. Les appareils de recherche fonctionnent le plus souvent suivant le même mode opératoire, avec des enceintes de volume plus petit (de

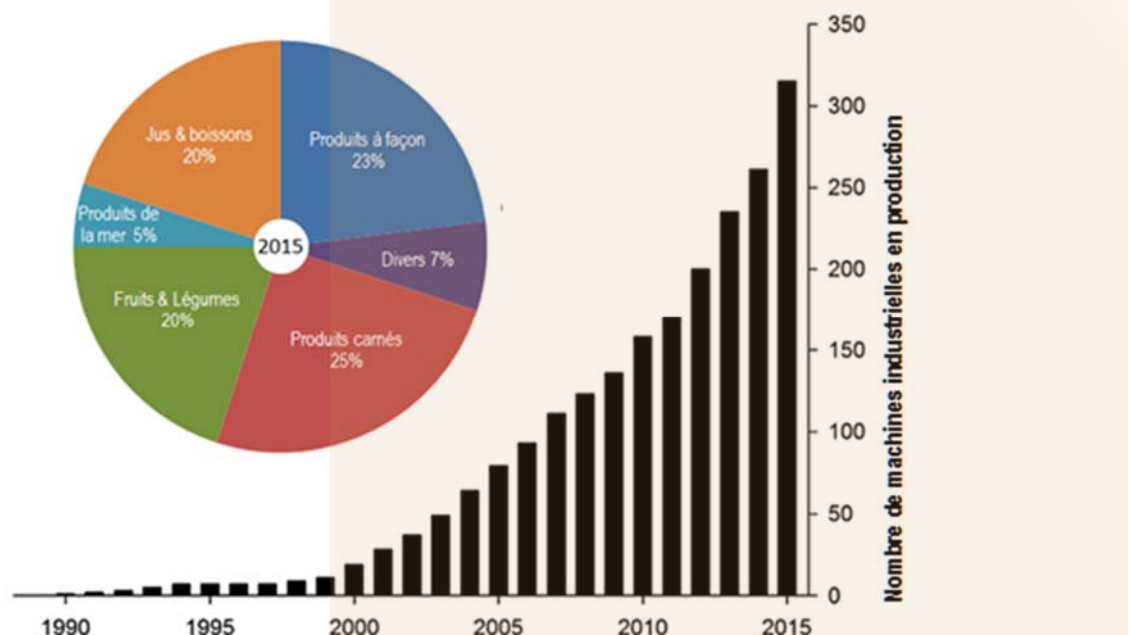
quelques mL à 5L) et permettant de faire varier la température de traitement de -40 à 90 °C.

La productivité du procédé Hautes Pressions dépend du taux de remplissage de l'enceinte et donc de la forme du produit.

Lors du traitement, la pression se répartit de façon uniforme et instantanée dans tout le volume de l'enceinte permettant un traitement parfaitement homogène du produit.

Depuis le début des années 1990, le nombre de machines industrielles en production ne cesse d'augmenter pour atteindre 315 machines en 2015, principalement localisées en Amérique du Nord (et Mexique) et en Europe. Les viandes et produits carnés représentent la majorité (25%) des produits traités par ce procédé en 2015 (Figure 1).

Figure 1 : Évolution du nombre de machines industrielles en production et produits traités (d'après Huang et al., 2017)



II. EFFETS DES HAUTES PRESSIONS SUR LES CONSTITUANTS DES PRODUITS CARNES

Le principe de Le Châtelier permet d'expliquer en partie les effets de la pression sur les constituants alimentaires. Ce principe expose que les phénomènes impliquant une diminution de volume sont favorisés par la pression. Ainsi, les liaisons de faible énergie (liaisons ioniques, liaisons hydrogène,...) sont particulièrement sensibles à la pression

II.1. Effet des Hautes Pressions sur l'eau

L'eau intervient à deux niveaux lors du traitement Hautes Pressions. D'une part, elle constitue le constituant majoritaire de la plupart des aliments, d'autre part elle sert de fluide transmetteur de pression au cours du procédé. La compressibilité de l'eau est modifiée sous pression, ainsi, à 20°C, elle est de 4% à 100 MPa, 7% à 200 MPa et 15% à 600 MPa (Hayashi, 1991). Parallèlement, cette compression adiabatique s'accompagne d'une élévation de température modérée, variant en fonction de la cinétique de pressurisation. À 25 °C, l'ordre de grandeur de cette élévation de température est de 3°C pour 100 MPa, mais elle peut être limitée par les échanges thermiques entre l'eau et l'enveloppe (Balasubramaniam *et al.*, 2015).

II.2. Effet des Hautes Pressions sur les lipides

Deux caractéristiques des lipides sont affectées par les traitements Hautes Pressions : leur température de fusion et leur niveau d'oxydation. En ce qui concerne la température de fusion, celle-ci augmente de façon réversible avec le niveau de pression appliquée : l'ordre de grandeur de cet accroissement est de 20°C pour 100 MPa (Heremans, 1982). Ceci peut avoir pour conséquence la cristallisation de certains lipides sous pression et donc des modifications des

II.3. Effet des Hautes Pressions sur les protéines

Les Hautes Pressions peuvent induire, selon le niveau de pression appliquée, la dissociation d'oligomères, le déploiement des monomères et leur dénaturation et ainsi avoir des conséquences sur l'agrégation des protéines et leur gélification (Balny et Masson, 1993). Ceci s'explique par le fait que, conformément au principe de Le Châtelier, les structures quaternaires, tertiaires et secondaires des protéines, stabilisées par des liaisons de faible énergie, sont affectées par

alors que les liaisons de forte énergie (liaisons covalentes) dont la rupture provoquerait une augmentation de volume du système ne le sont pas. Ceci explique notamment que les vitamines sont peu affectées par la pression, alors que les protéines, les lipides et l'eau, constituants majoritaires des viandes et produits carnés, le sont.

De plus, le produit ionique de l'eau s'élève sous pression (à 25 °C, il est de 10^{-14} à pression atmosphérique et d'environ $10^{-12.5}$ à 600 MPa) ce qui induit une diminution du pH réversible à la dépressurisation (Marshall and Franck, 1981). Ce phénomène transitoire peut cependant avoir des conséquences importantes sur le produit traité (aptitude à la gélification, à l'émulsification, texture,...).

L'application des Hautes Pressions va aussi avoir pour conséquence l'abaissement du point de fusion de la glace permettant ainsi d'atteindre des températures négatives sans formation de cristaux.

biomembranes (hausse de la perméabilité, fuite de contenu cellulaire, inactivation de microorganismes). Pour ce qui est de l'oxydation, un certain nombre de travaux conclut à son accélération après un traitement Hautes Pressions mais ceci reste sujet à controverse et est très dépendant de la matrice étudiée. Dans le cas des produits carnés, la disponibilité ou la libération du fer à partir des hémoprotéines pourraient en partie expliquer cette accélération (Guyon *et al.*, 2016).

le traitement (la structure primaire, stabilisée par des liaisons covalentes ne l'est pas). Dans le cas des produits carnés, les enzymes impliquées dans la maturation, la myoglobine dans la couleur des viandes rouges et les protéines myofibrillaires responsables des propriétés fonctionnelles de la viande sont donc susceptibles d'être modifiées lors d'un traitement par Hautes Pressions.

III. IMPACTS DES HAUTES PRESSIONS SUR LES PRODUITS CARNES

III.1. Impact sanitaire

Le procédé Hautes Pressions a été développé comme une alternative au traitement thermique classique de pasteurisation. En effet, les Hautes Pressions, selon le niveau de traitement appliqué, sont capables de détruire la plupart des microorganismes améliorant ainsi la qualité sanitaire et la durée de vie des aliments. En ce qui concerne les bactéries végétatives, les conséquences peuvent aller de la diminution du taux de croissance jusqu'à l'inactivation. Ces conséquences varient en fonction du niveau de pression appliquée, du Gram et de la forme des microorganismes. Des différences de

barosensibilité à l'intérieur d'un même genre ou entre des souches d'une même espèce bactérienne ont également été décrites. Les levures et moisissures sont généralement plus sensibles à la pression que les bactéries végétatives alors qu'au contraire les spores bactériennes y sont résistantes (Lerasle *et al.*, 2012). Un traitement de 500 MPa est nécessaire pour observer une inactivation totale des flores végétatives dans les produits carnés, et permettre une durée de conservation de plus de 2 semaines.

III.2. Impact organoleptique

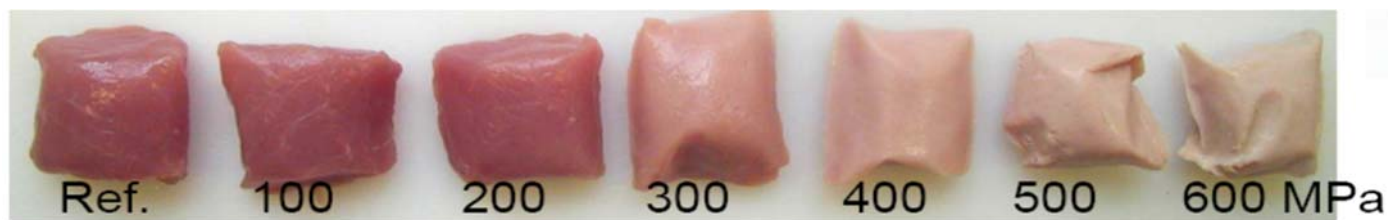
Les Hautes Pressions modifient la couleur de la viande et des produits carnés crus (Figure 2) : on observe généralement une augmentation de la clarté souvent couplée à une

diminution de l'indice de rouge et de l'indice de jaune aboutissant ainsi à un éclaircissement marqué de la viande fraîche (Buckow *et al.*, 2007 ; Jung *et al.*, 2003). Ce

phénomène serait dû à la conversion de l'oxymyoglobine en metmyoglobine par oxydation de l'hème (Cava et al., 2009 ;

Jung et al., 2003) et à la dénaturation partielle des protéines myofibrillaires (Goutefongea et al., 1995).

Figure 2 : Couleur de la viande de porc crue traitée par Hautes Pressions à 10 °C (Buckow et al., 2007)



La cuisson provoquant une dénaturation de la myoglobine dans la viande, ces phénomènes de variation de couleur ne sont pas visibles sur des viandes cuites préalablement au traitement par Hautes Pressions (Jung et al., 2003) ou cuites après traitement par Hautes Pressions.

Les premiers travaux portant sur l'influence du traitement Hautes Pressions sur la texture dans le domaine des produits carnés ont été menés sur de la viande *pre rigor*. Dans ce cas, une contraction intense est observée (réduction du volume du muscle) et par la suite, après cuisson, un attendrissement de la viande (Macfarlane, 1973). Ce résultat suggère l'utilisation des Hautes Pressions comme méthode d'attendrissement mais reste inapplicable au niveau industriel.

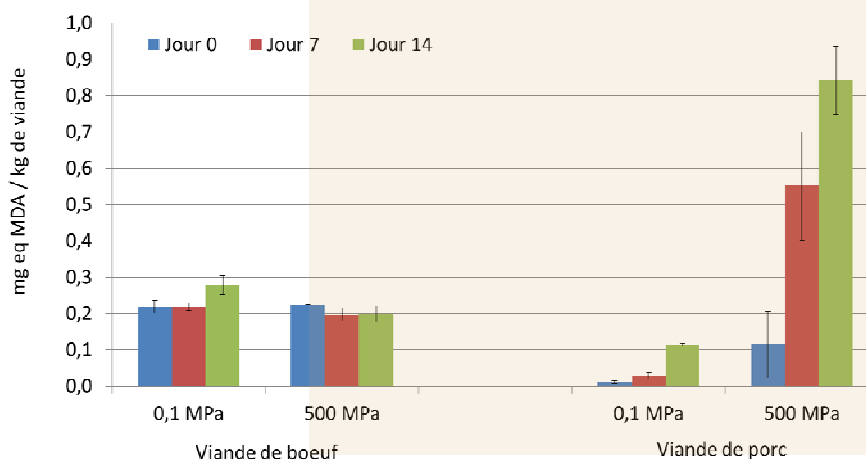
Les travaux plus récents portent sur la viande *post rigor*. Tous s'accordent sur une augmentation de la dureté de la viande après pressurisation à température ambiante ou basse (Jung et al., 2000 ; Ma and Ledward, 2004). Seule la combinaison pression et température (50-60 °C) permet de diminuer la dureté de la viande (Ma and Ledward, 2004). Ces conclusions se retrouvent dans le cas des produits carnés, avec, pour les mēlées, une augmentation simultanée de la cohésion (Mor-Mur and Yuste, 2003).

Les raisons de ces modifications de texture ne sont pas totalement connues mais différents travaux ont montré d'une part une dépolymérisation des protéines sous pression (Cheftel and Culioli, 1997) à l'origine de modifications de leur solubilité et de leur gélification (Iwasaki et al., 2006) et d'autre part la coagulation et l'agrégation de protéines sarcoplasmiques dans les espaces inter-myofibrillaires (Jung et al., 2000). Des changements structuraux ont également été mis en évidence après un traitement par Hautes Pressions (fragmentation des myofibrilles, rupture de la ligne Z, disparition de la ligne M, contraction des sarcomères, stabilité du collagène à la pression ...) (Simonin et al., 2012). Les

Hautes Pressions auraient aussi pour conséquence la diminution de l'activité globale des calpaïnes et l'augmentation de l'activité de la cathepsine D (Jung et al., 2000, Macfarlane, 1973). L'effet des Hautes Pressions sur la texture de la viande est donc le résultat d'une combinaison complexe de mécanismes.

L'état d'oxydation des lipides est un point important à prendre en compte pour déterminer la stabilité et l'acceptabilité des produits traités par Hautes Pressions. La plupart des études utilise le test à l'acide 2-thiobarbiturique (TBAr) et montre que les Hautes Pressions accélèrent généralement les phénomènes d'oxydation au cours du stockage sans pour autant modifier le niveau maximal d'oxydation atteint (Simonin et al., 2012). Cette accélération semble toucher les produits primaires et secondaires de l'oxydation (Bolumar et al., 2012 ; Wiggers et al., 2004). Différentes explications à ces phénomènes sont envisagées : libération d'ions métalliques à partir des hémoprotéines, dommage au niveau des membranes cellulaires,... sans pour autant avoir abouti à une conclusion généralement admise (Orlien et al., 2000). D'une part, le seuil de pression à partir duquel ces phénomènes s'accélèrent dépend de l'espèce animale : 300 MPa pour le porc (Cheah and Ledward, 1996), 500 MPa pour le poulet (Orlien et al., 2000). D'autre part, l'impact des hautes pressions sur l'oxydation des lipides des viandes semble dépendre de la teneur en matière grasse et de la composition en acides gras polyinsaturés. Ainsi, l'oxydation est accrue dans la viande de porc (2% de matières grasses, 16% d'acides gras poly-insaturés), et accélérée au cours du stockage ; contrairement à la viande de bœuf (6% de matière grasse, 5% d'acides gras poly-insaturés), pour laquelle le niveau d'oxydation et son évolution au cours du stockage sous-vide à 4 °C sont stabilisés voire ralentis (Figure 3).

Figure 3 : Évolution de la teneur en TBAr exprimée en équivalent malondialdéhyde (MDA) par kg de viande de porc ou de bœuf traitée par Hautes Pressions (Guyon et al., 2015)



III.3. Impact sur la formulation

Le procédé hautes pressions présente un fort potentiel d'élaboration de produits carnés avec des concentrations en sel réduites. Le sel peut être réduit dans la viande hachée ou dans le muscle entier, sans que la qualité technologique soit affectée. De plus, il a été mis en évidence que la combinaison d'une concentration en sel réduite (1,5%) avec un niveau de

III.4. Impact environnemental

Très peu d'études sont disponibles sur l'impact environnemental de l'introduction d'une étape de Hautes Pressions dans la transformation des produits carnés. Villamonte et *al.* (2014) ont étudié l'influence du procédé Hautes Pressions en tant qu'étape supplémentaire dans le

CONCLUSION

L'utilisation bien que récente du procédé par Hautes Pressions a donné lieu à de nombreux développements de produits en Europe. Ainsi les marques España (1998) et Creta Farms (2001) se sont positionnées sur des produits de charcuterie et des tapas alors que récemment (printemps 2015) la société Delpierre a mis sur le marché des filets de

pression modéré (350 MPa) permet d'augmenter la durée de conservation d'un point de vue microbiologique, d'améliorer la cohésion et la rétention d'eau, et de limiter les phénomènes d'oxydation qui surviennent pour des pressions et des concentrations en sel supérieures (Duranton et *al.*, 2012).

cycle de vie du jambon cuit en France et ont conclu à une influence négligeable. En effet, dans les scénarios évalués, l'étape de la production animale reste la principale source d'impacts potentiels.

poisson frais avec une DLC proche de 20 jours et lance en octobre 2016 un jambon de saumon (Figure 4).

Des travaux de recherche actuels visent à étudier la possibilité de détruire les spores bactériennes par le procédé Hautes Pressions en combinaison avec d'autres stratégies telles que l'élévation de température ou la biopréservation (ANR-14-CE20-0004 BLac HP).

Figure 4 : Exemples de produits à base de viande et de poisson traités par Hautes Pressions commercialisés en Europe



Références :

- ANSES Avis concernant les traitements par hautes pressions hydrostatiques sur des aliments emballés, du 30 août 2010 (Saisine n°2010-SA-0193 et saisines liées n°2007-SA-0164, 2009-SA-0240, 200-SA-0315, 2009-SA-0316)
- Balasubramaniam V.M. (Bala), Martínez-Monteaquedo S.I., Gupta R. (2015). Principles and Application of High Pressure-Based Technologies in the Food Industry. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 6, 435–462.
- Balny C., Masson P. (1993). Effects of high pressure on proteins. *Food Rev. Int.* 9, 611–628.
- Bolumar T., Skibsted L.H., Orlén V. (2012). Kinetics of the formation of radicals in meat during high pressure processing. *Food Chem.* 134, 2114–2120.
- Buckow R., Tintchev F., Heinz V., Knorr D. (2007). Effect of combined high pressure-temperature treatments on the sensory and microbial quality of pork and poultry meat. *Proc. IFT Annu. Meet. Food ExpoChicago.*
- Cava R., Ladero L., González S., Carrasco A., Ramírez M.R. (2009). Effect of pressure and holding time on colour, protein and lipid oxidation of sliced dry-cured Iberian ham and loin during refrigerated storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10, 76–81.
- Cheah P.B., Ledward D.A. (1996). High Pressure Effects on Lipid Oxidation in Minced Pork. *Meat Sci.* 43, 123–134.
- Cheftel J.C., Culioli J. (1997). Effects of High Pressure on Meat: A Review. *Meat Sci.* 46, 211–236.

Commission européenne. Décision du 23 mai 2001 autorisant la mise sur le marché de préparations pasteurisées à base de fruits produits au moyen d'un traitement de pasteurisation à haute pression, en application du règlement (CE) n°258/97 du Parlement européen et du Conseil (JO L 151 du 7.6.2001, p. 42)

Duranton F., Guillou S., Simonin H., Chéret R., de Lamballerie M. (2012). Combined use of high pressure and salt or sodium nitrite to control the growth of endogenous microflora in raw pork meat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 16, 373–380.

Goutefongea R., Rampon V., Nicolas N., Dumont J.P. (1995). Meat color changes under high pressure treatment. 41st ICoMST Am Meat Sci Assoc II, 384–385.

Guyon C., Besnard L., Laflaquière L., Villamonte G., Meynier A., de Lamballerie M., Pottier L. (2015). Pressure treatment on beef and pork meat: impact on the lipid and protein oxidation. 61st ICoMST, Clermont-Ferrand, France.

Guyon C., Meynier A., de Lamballerie M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends Food Sci. Technol.* 50, 131–143.

Hayashi R. (1991). High pressure in food processing and preservation: Principle, application and development. *High Press. Res.* 7, 15–21.

Heremans K. (1982). High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.* 11, 1–21.

Huang H.-W., Wu S.-J., Lu J.-K., Shyu Y.-T., Wang C.-Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control* 72, 1–8.

Iwasaki T., Noshiroya K., Saitoh N., Okano K., Yamamoto K. (2006). Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. *Food Chem.* 95, 474–483.

Jung S., Ghoul M., de Lamballerie-Anton M. (2000). Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing. *Meat Sci.* 56, 239–246.

Jung S., Ghoul M., de Lamballerie-Anton M. (2003). Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 625–631.

Lerasle M., Duranton F., Simonin H., Membré J.M., Chéret R., de Lamballerie M., Guillou S., Federighi M. (2012). Traitements par hautes pressions hydrostatiques des denrées alimentaires : état de l'art. *Rev. Méd Vét* 163, 595–614.

Ma H.-J., Ledward D. (2004). High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Sci.* 68, 347–355.

Macfarlane J.J. (1973). Pre-rigor pressurization of muscle: effects on pH, shear value and taste panel assessment. *J. Food Sci.* 38, 294–298.

Marshall W.L., Franck E.U. (1981). Ion product of water substance, 0-1000 °C, 1-10,000 Bars - new international formulation and its background. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 10, 295–304.

Mor-Mur M., Yuste J. (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: physical properties and sensory analysis. *Meat Sci.* 65, 1187–1191.

Orlien V., Hansen E., Skibsted L.H. (2000). Lipid oxidation in high-pressure processed chicken breast muscle during chill storage: critical working pressure in relation to oxidation mechanism. *Eur. Food Res. Technol.* 211, 99–104.

Parlement européen. Règlement (CE) n° 258/97 du 27 Janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaire (JO L 43 du 14.2.1997, p. 1)

Parlement européen. Règlement (UE) n° 2015/2283 du 25 novembre 2015 relatif aux nouveaux aliments, modifiant le règlement (UE) n° 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant le règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) n° 1852/2001 de la Commission (JO L 327 du 11.12.2015, p. 1)

Simonin H., Duranton F., de Lamballerie M. (2012). New Insights into the High-Pressure Processing of Meat and Meat Products. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 11, 285–306.

Villamonte G., de Lamballerie M., Jury V. (2014). Consideration of the product quality in the life cycle assessment: case of a meat product treated by high pressure. In *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, San Francisco, California, USA, 8-10 October, 2014., (American Center for Life Cycle Assessment), pp. 1488–1496.

Wiggers S., Kröger-Ohlsen M., Skibsted L. (2004). Lipid oxidation in high-pressure processed chicken breast during chill storage and subsequent heat treatment: effect of working pressure, packaging atmosphere and storage time. *Eur. Food Res. Technol.* 219.