

Le cas des carcasses de volailles

Intérêt d'utiliser les traitements par de la vapeur d'eau seule ou combinée avec de l'acide lactique pour décontaminer la surface des viandes

Cet article fait le point sur les résultats récents obtenus pour décontaminer la surface des carcasses de volailles en utilisant de la vapeur d'eau seule ou en combinaison avec de l'acide lactique. Les résultats devraient déboucher rapidement sur des applications industrielles et pourraient être rapidement étendus à d'autres types de viandes que la volaille.

En pratique, malgré les efforts effectués dans les élevages, la peau de certaines carcasses de volailles et de porcs reste contaminée, notamment par *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.* et par des germes d'altération. À ces bactéries héritées de l'animal, s'ajoutent les contaminations par *Listeria monocytogenes* qui sont susceptibles de coloniser durablement les usines agroalimentaires, de former des biofilms et de recontaminer ainsi des produits cuits, ce qui contribue pour l'essentiel à sa dangerosité dans l'industrie. Le niveau initial, de contamination de la peau et de la surface des carcasses, est déterminant pour la qualité sanitaire du produit fini, du fait de la propagation des flores de surface vers l'intérieur du muscle (normalement stérile) au cours des découpes et transformations successives du produit. L'ensemble de ces phénomènes explique pourquoi les viandes de volailles et de porcs restent responsables d'infections alimentaires en France et dans le monde. Cette contamination de la surface des carcasses devrait poser un problème de plus en plus aigu pour la santé humaine dans les pays développés car : (1) la consommation de viande de volailles et de porcs tend à augmenter, (2) les carcasses sont de plus en plus souvent découpées puis transformées avant d'être commercialisées, (3) il a été montré que des microorganismes, notamment des salmonelles, pouvaient résister à certaines cuissons domestiques. Les industriels sont, à l'heure actuelle, confrontés à une demande de renforcement des normes bactériologiques (cf. évolution des normes industrielles européennes) à laquelle ils ne savent pas répondre.

Cet article vise à faire le point sur l'efficacité des méthodes de décontamination des carcasses de viandes par la chaleur et par l'acide lactique utilisées seules ou de manière combinée. Le traitement thermique par l'air chaud ou par la vapeur est perçu comme parfaitement naturel par le consommateur et ne devrait pas poser de problèmes d'un point de vue législatif. L'acide lactique est déjà autorisé pour la transformation de nombreux produits alimentaires et il est naturellement présent dans de nombreux produits dont la viande et parfois à de très fortes concentrations (saucisson). Aucune dose maximale n'est d'ailleurs spécifiée dans les règlements de la FAO (*quantum satis*). Il pourrait être favorablement perçu par le consommateur et présente l'avantage d'être peu cher et de ne conduire à aucune odeur ou saveur désagréable lorsqu'il est utilisé en solution diluée. Son usage reste pour le moment interdit en France pour décontaminer les carcasses de viandes.

L'article résume rapidement les résultats, obtenus avant 2001 et au cours du contrat européen BUGDEATH (2001-2003), sur la décontamination thermique, avant d'aborder les travaux effectués à l'Inra (UR 370) entre 2003 et 2006. La dernière partie discute de l'effet d'un traitement acide utilisé en combinaison avec un traitement thermique préalable ; ce travail étant le fruit d'une collaboration entre le Cirad et L'Inra.

KONDJOYAN¹ A., PORTANGUEN¹ S., LECOMPTE² J.Y.,
SARTER³ S., COLLIGNAN³ A.

¹Inra, UR370, QuaPA, 63122 St Genès Champanelle

²Cirad Réunion, 97490 Sainte Clotilde

³Institut des régions chaudes de Montpellier SupAgro, 34033 Montpellier cedex 1

EFFICACITE DES TRAITEMENTS THERMIQUES DE DÉCONTAMINATION

Une revue de tous les travaux antérieurs à 1995 a été effectuée par C. James et S. James (1997). La première méthode de décontamination thermique utilisée consiste à appliquer un jet d'eau chaude sur la surface de carcasses de viande, ce qui permet aussi de laver le produit en éliminant les contaminants physiques tels que la terre, les poils et les autres débris. Son efficacité à réduire la population bactérienne dépend de la température du jet et de son mode d'application. Des réductions (coliformes totaux, *E. coli*, *Listeria innocua*, *Clostridium sporogenes*) de 1 à 2,5 log₁₀ ont été observées pour des températures de jet comprises entre 70 °C et 90 °C et pour des temps de traitement de 10 à 15 s (Warren J. Dorsa et al., 1995 et 1997; Kochevar et al., 1997). Des essais ont ensuite été effectués en trempant des pièces de viande dans des bains d'eau ou en exposant leur surface à de la vapeur d'eau afin d'améliorer le transfert thermique et de rendre le traitement plus uniforme. Plusieurs brevets basés sur l'utilisation de la vapeur ont même été déposés aux Etats-Unis d'Amérique et en Europe du nord (Frigoscandia). En ce qui concerne les volailles, un système automatisé (VSV : vacuum/steam/vacuum), présenté comme pouvant détruire 99,99 % des bactéries en chauffant rapidement la surface des viandes avec de la vapeur pure en surpression à 145 °C, a été construit pour travailler à des cadences élevées (4000 poulets/h soit 70 poulets/min, Arthur I. Morgan et al., 1996). Mais, l'efficacité réelle de la décontamination mesurée récemment

sur des carcasses de poulets est décevante, puisqu'un traitement à 138 °C pendant 0,2 s avec ce système n'entraîne en fait qu'une réduction d'une population de *Listeria innocua* de 0,7 à 1,1 log₁₀ (M. Kozempel et al., 2001). Ces résultats semblent être assez spécifiques des viandes puisqu'une utilisation du même prototype sur des fruits et légumes est beaucoup plus efficace (M. Kozempel et al., 2002).

L'efficacité de la décontamination thermique mesurée en surface des viandes dans la plupart des publications excède rarement 2,5 log₁₀. Mais, des valeurs bien supérieures, de l'ordre de 3,0 à 5,0 log₁₀, sont avancées dans certaines publications et textes de brevets. Ces contradictions ont conduit L'Inra à bâtir avec l'université de Bristol et cinq autres partenaires européens un projet pour analyser les effets de la décontamination thermique sur l'inactivation bactérienne en surface d'aliments solides. Ce projet « BUGDEATH » a été accepté dans le 5^e PCRDT (James et Evans, 2006). L'objectif était de conduire des expériences de décontamination en laboratoire dans des conditions thermiques parfaitement maîtrisées et sur des produits standardisés, puis d'interpréter les résultats en s'aidant de modèles mathématiques qui permettent d'analyser les transferts et d'accéder à des variables non mesurables (Kondjoyan et al., 2006). Lors de ces expériences, la surface du produit alimentaire était d'abord fortement inoculée (contamination initiale de l'ordre de 10⁶ à 10⁷ UFC/cm²) avec une bactérie cible dont la population était ensuite suivie au cours du temps et en fonction de la température en surface de l'aliment. Les résultats ont

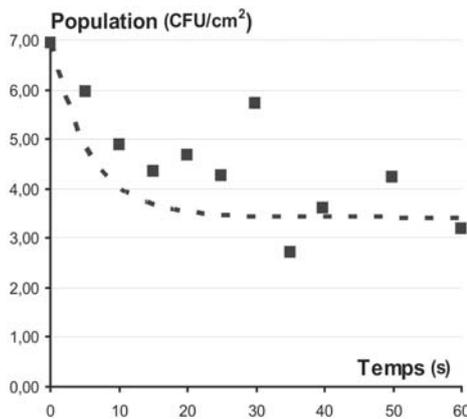
confirmé que la décontamination thermique de la surface des viandes est incomparablement plus difficile que celle des liquides. Pour une température donnée, la population bactérienne décroît exponentiellement en fonction du temps et tend vers une limite dont la valeur correspond à la concentration en sous-population résistante au traitement.

Ce phénomène de traînée (« Tailing effect ») existe en milieu liquide mais uniquement pour des températures légèrement supérieures aux températures létales (55-60 °C) et avec des niveaux de populations résistantes en général assez faibles. En surface des produits solides, le phénomène de traînée peut être observé pour des températures plus élevées (80-100 °C) et conduit à des niveaux de populations résistantes plus importants (10³-10⁴ UFC/cm² après 60 s de traitement à 90 °C pour une contamination initiale de l'ordre de 10⁶-10⁷ UFC/cm²). Ce phénomène s'accompagne d'une très grande variabilité des résultats. Le projet européen BUGDEATH a aussi montré que la vapeur à pression atmosphérique était plus efficace que l'air chaud pour décontaminer la surface des viandes. Les diminutions des populations de *Salmonella Typhimurium* (DT 104) et d'*Escherichia coli* (O157:H7) mesurées par McCann et al. (2006) sur de la peau de poulet soumise à de la vapeur sont supérieures à celles obtenues sur du muscle (Fig. 1).

Les résultats restent dispersés, avec un faible nombre de répétitions. Ils sont donc assez peu précis. Ils ne permettent pas d'optimiser le traitement par la vapeur car celui-ci n'a été réalisé que dans une seule condition et sans mesurer

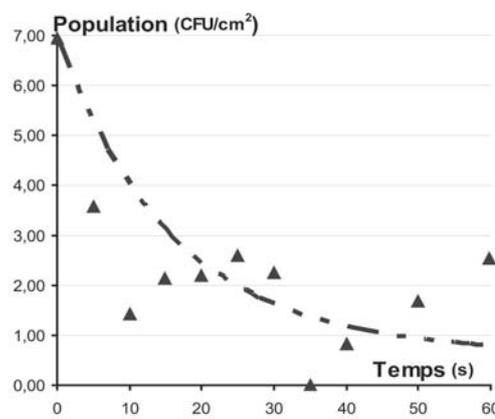


Figure 1a



Évolution du logarithme de la population de *E. coli* (O157:H7) inoculée en surface de peau de poulet et soumise à un traitement effectué avec de la vapeur à 85 °C d'après McCann et al. (2006).

Figure 1b



Évolution du logarithme de la population de *Salmonella Typhimurium* (DT 104) inoculée en surface de peau de poulet et soumise à un traitement effectué avec de la vapeur à 85 °C d'après McCann et al. (2006).

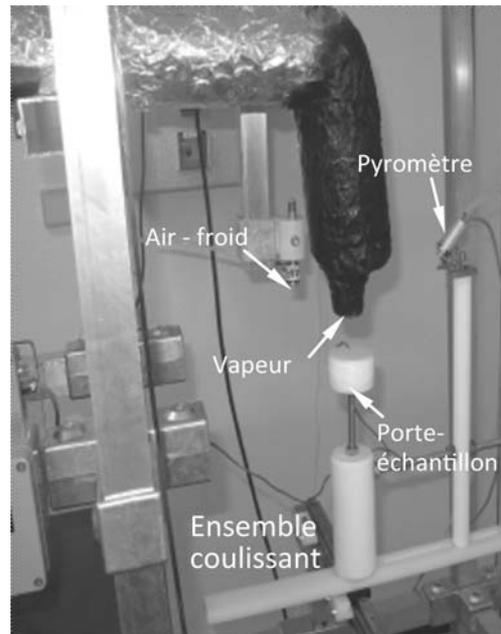
la température de surface. De plus, il n'y aucune information sur la dégradation du produit par le traitement thermique. À l'issue du projet européen (2003), les travaux ont été poursuivis à l'Inra pour : (1) analyser les causes physiques qui pourraient expliquer la plus grande thermorésistance des bactéries à la surface des solides par rapport à celle qui existe dans les liquides, (2) optimiser les traitements par la vapeur dans le cas des carcasses de volailles.

L'analyse des causes physiques montre que la différence de souche, de milieu, les gradients de température dans le produit, et l'assèchement préalable de la surface ne peuvent expliquer complètement l'augmentation de la thermo-résistance des bactéries sur les surfaces solides. Il semble bien que cette plus grande thermo-résistance soit induite par l'adhésion elle-même et existe indépendamment du fait que le support soit biologique ou non (Valdramidis et al., 2008).

L'optimisation du traitement thermique a été effectuée en utilisant de la vapeur surchauffée sous pression atmosphérique. En effet, l'utilisation de pressions supérieures à la pression atmosphérique impose des normes de sécurité strictes, conduit à des installations chères et à des traitements en batch peu souples d'un point de vue industriel. Un banc a été construit à l'Inra pour appliquer le traitement thermique avec l'objectif de : (1) faire varier la température du jet de vapeur, et (2) de pouvoir suivre en continu l'évolution de la température en surface de l'échantillon (Fig. 2). Un générateur de vapeur sous pression permettait d'obtenir une température de vapeur de l'ordre de 150 °C. La vapeur était ensuite surchauffée et acheminée au-dessus de l'échantillon par l'intermédiaire d'un tuyau en inox autour duquel étaient fixées deux résistances électriques. La vapeur pouvait être surchauffée à des températures comprises entre 150 °C et 500 °C. Un jet d'air froid généré par un tube de Ranque-Hilsch venait stopper le traitement par la vapeur. Pendant tout le traitement, la température en surface de l'échantillon était mesurée à l'aide d'un pyromètre infrarouge. Le banc permettait d'obtenir des températures de plus de 180 °C en surface d'un échantillon de poulet recouvert de sa peau (Fig. 3). La calibration de la mesure de la température de surface et l'analyse des transferts ont donné lieu à un travail spécifique (Kondjoyan et Portanguen, 2008a).

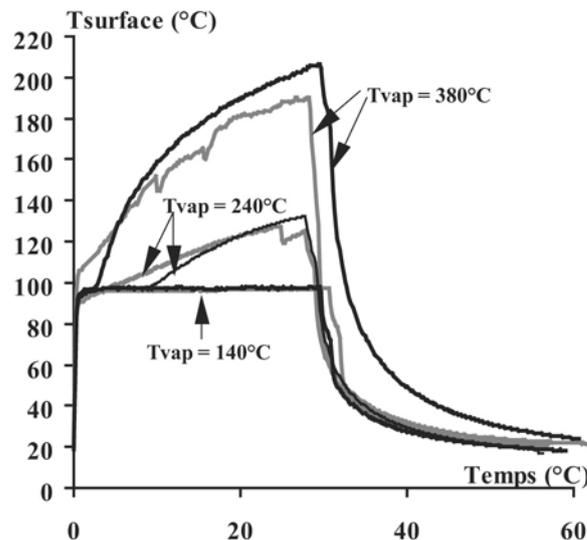
Pour quantifier l'effet de la décontamination, la peau du poulet étaitensemencée avec une solution fortement chargée en une bactérie cible puis soumise au jet de vapeur pour différents barèmes de temps et de température. La différence entre la quantité de bactéries cibles présentes sur la peau, avant et après traitement, permettait de déterminer l'efficacité de la décontamination. La flore totale était également dénombrée avant et après traitement pour déterminer une éventuelle influence de la présence de cette flore sur l'inactivation de la bactérie cible. La bactérie cible était *Listeria innocua* (CLIP 20-595), qui avait été choisie car des essais préalables avaient montré que sa destruction permettait de prévoir celle d'autres bactéries pathogènes ou d'altération présentes en surface de l'aliment. La charge microbienne initiale en bactéries cibles était la plus élevée possible (10^6 - 10^7 UFC/cm²) de manière à mesurer réellement la différence d'inactivation entre les traitements en s'éloignant du seuil de la méthode de comptage. Dans le cas où le traitement était très

Figure 2



Vue de la partie du banc thermique servant au traitement de l'échantillon par le mélange vapeur-air

Figure 3



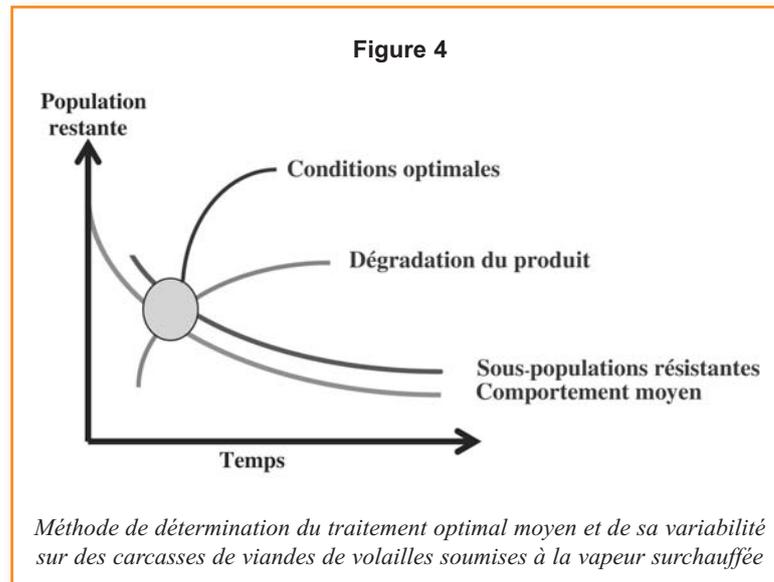
Températures de surface mesurées sur un échantillon de Téflon de 2 cm d'épaisseur (noir) et un échantillon de poulet recouvert de sa peau (gris) pour différentes températures de vapeur



efficace, la valeur de ce seuil de comptage était diminuée en ne diluant pas la solution à dénombrer. La dispersion des résultats observés dans les études antérieures nous a conduits à répéter lourdement les mesures. L'optimisation du traitement exige en effet : (1) de connaître précisément l'efficacité moyenne des différents barèmes appliqués, et (2) d'introduire une limite de sécurité qui tient compte des cas où le traitement s'avère nettement moins efficace que la moyenne des observations. Les expériences ont donc été répétées 10 fois pour tous les temps de traitement et 20 fois pour le traitement situé au centre du domaine temporel.

Parallèlement aux essais microbiologiques l'impact du traitement thermique sur la cuisson de la viande protégée par la peau des volailles a été évalué. Les résultats ont permis de discriminer une zone de cuisson d'une zone de non-cuisson, le début de cuisson étant caractérisé par le blanchiment instantané de la viande de volaille présente sous la peau. Dans le cas où le muscle de poulet n'est pas recouvert de sa peau, le blanchiment caractéristique de la cuisson apparaît dès que la température de la viande devient supérieure ou égale à 70 °C.

Dans un premier temps, les expériences ont été effectuées avec de la vapeur non-surchauffée, ce qui permettait de se placer dans des conditions voisines de celles utilisées par MacCann et al. (2006). Les diminutions de population mesurées sur *Listeria innocua* (CLIP 20-595) se situent entre celles décrites par McCann pour *Salmonella Typhimurium* (DT104) et pour *Escherichia coli* (O157 :H7). Cela confirme que l'inactivation de la bactérie choisie permet bien de prévoir celle d'autres bactéries pathogènes présentes en surface de la peau de poulet. L'utilisation de la vapeur surchauffée permet d'obtenir des décontaminations nettement plus fortes qu'avec de la vapeur non surchauffée et avec des temps de traitement plus courts (Kondjoyan et Portanguen, 2008b). Il est possible de définir une zone de traitement où la décontamination est de 5 log₁₀ en moyenne et de 3 log₁₀ dans les cas les plus défavorables sans qu'il n'y ait cuisson de la viande localisée sous la peau (Fig. 4). Un brevet a été déposé sur ce procédé (brevet N° 05 53451, novembre 2005, inventeurs A. Kondjoyan et S. Portanguen). Il ne concerne que les carcasses de volailles mais les méthodologies développées pour optimiser le traitement thermique pourraient être étendues aux autres types



de viandes : carcasses de porcs, de bœufs... Comme le traitement thermique fragilise la peau des carcasses et diminue la compétition entre les bactéries, la question s'est posée de savoir si une recontamination ultérieure n'entraînerait pas une croissance plus rapide sur les carcasses traitées par rapport aux carcasses non traitées, annihilant en partie l'effet du traitement. Des peaux traitées et non traitées thermiquement ont donc été recontaminées en *Listeria innocua* et stockées pendant 7 jours à 4 °C. Les différences sont de l'ordre de 1 log₁₀ et ne remettent pas en cause l'intérêt du traitement de décontamination thermique.

DÉCONTAMINATION PAR L'ACIDE LACTIQUE COMBINÉE AVEC LE TRAITEMENT THERMIQUE

Les concentrations en acide lactique habituellement présentées dans la littérature pour la décontamination de surface de viandes sont faibles de l'ordre de 1% à 2%. L'effet de décontamination, immédiatement après traitement, est bien moindre que dans le cas des traitements thermiques (réduction de 1 à 1,5 log₁₀). Un phénomène de rémanence est souvent observé après traitement qui conduit à un ralentissement de la croissance bactérienne (effet bactériostatique), voire à une inactivation supplémentaire (effet bactéricide) lors du stockage du produit. Aussi, l'étude d'un procédé combinant un traitement thermique et un traitement acide constituerait une alternative prometteuse à l'utilisation d'un des traitements seuls.

Un travail de thèse (J.-Yves Lecompte, Bourse de la région Réunion, directeurs de thèse A. Collignan et A. Kondjoyan)

se déroule à l'heure actuelle au Cirad de l'île de la Réunion dans le cadre d'une collaboration entre l'Inra et le Cirad pour compléter les résultats de la bibliographie sur l'effet de l'acide lactique et étudier l'effet d'un traitement combiné thermique-acide. Dans le cas des traitements acides, il s'agit : (1) de mesurer l'inactivation possible pour des concentrations en acide supérieures à 5%, (2) d'analyser l'effet du temps de contact acide/peau sur l'efficacité du traitement, (3) d'étudier l'effet des traitements sur les propriétés organoleptiques du produit après cuisson, (4) de doser les teneurs résiduelles en acide sur la peau. Aucune opération de rinçage n'était effectuée après le traitement par l'acide.

Globalement, l'efficacité du traitement par l'acide seul tend à augmenter avec la concentration en acide et la durée du temps de contact. La réduction de la population de *Listeria innocua* (CLIP 20-595) immédiatement après un traitement avec de l'acide lactique à 10%, peut atteindre 1,5 et 2,5 log₁₀ UFC/cm² pour des durées respectives de contact de 1 min et 30 min. Après le traitement un effet bactéricide est observé en surface des produits (non rincés). La réduction supplémentaire de la population au bout de 7 jours de stockage peut être très importante. Elle est de 2,5 log₁₀, pour une concentration en acide de 5% et un temps de contact d'une minute et de 6,0 log₁₀ pour une concentration en acide de 10% et un temps de contact de 30 min. L'utilisation de l'acide lactique n'entraîne pas de modification organoleptique du produit même pour des concentrations et des temps de contact importants. La teneur en acide lactique, dosée sur la totalité de la peau après 7 jours de stockage, n'augmente pas de manière signi-



ficative sauf pour le traitement le plus drastique (concentration 10%, 30 min de contact), où cette augmentation est modérée (700 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ contre 90 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ pour la peau non traitée).

L'effet d'un traitement combiné par la vapeur puis par l'acide a été étudié dans différentes conditions. Le traitement acide était appliqué après le traitement thermique, facilitant ainsi le refroidissement du produit dans des conditions industrielles. À l'issue du traitement combiné, l'addition d'acide lactique n'entraîne pas de réduction supplémentaire significative de la population de *Listeria*, lorsque le traitement par la vapeur est déjà efficace. Mais un effet bactéricide supplémentaire se révèle en cours de stockage réfrigéré pour les concentrations en acide les plus importantes. Un effet de synergie peut être observé entre les traitements. Ainsi, une combinaison entre un traitement à la vapeur à 70 °C pendant 15 s, suivi d'un contact de la peau d'une minute avec une solution d'acide lactique à 5% présente, après 7 jours de conservation, une efficacité deux fois supérieure à chacun des traitements pris séparément.

CONCLUSION

Optimiser un traitement de décontamination exige : (1) un contrôle parfait des conditions de traitement et de prélèvement des échantillons, (2) une contamination initiale répétable (type de flore, état physiologique, état d'adhésion...), et (3) un niveau de contamination initial identique et suffisamment élevé pour ne pas se retrouver dans les limites basses de comptage à l'issue du traitement. Ces conditions peuvent être obtenues en laboratoire où il est possible de travailler sur un microorganisme type, dont l'in-

activation entraîne automatiquement celles des autres pathogènes. Même dans un environnement de laboratoire, la réponse au traitement thermique de microorganismes adhérant aux surfaces solides reste très variable, ce qui impose de répéter lourdement les expériences. Cette variabilité de la réponse des microorganismes et les différences de protocole expliquent en grande partie les contradictions de la littérature.

Une étude a été effectuée à l'Inra pour analyser l'effet d'un traitement par la vapeur à pression atmosphérique sur la décontamination de carcasses de volailles. Il a été montré que l'utilisation de la vapeur surchauffée permet d'obtenir des décontaminations nettement plus fortes qu'avec de la vapeur non surchauffée, et sur des temps de traitement plus courts. Il est possible de définir une zone de traitement où la décontamination est de 5 \log_{10} en moyenne et de 3 \log_{10} dans les cas les plus défavorables sans que la viande localisée sous la peau ne soit cuite (brevet N° 05 53451). Il semble que la peau traitée thermiquement ne soit pas plus sensible à une recontamination ultérieure que la peau non traitée (à confirmer en abattoir). Ces traitements thermiques ont l'avantage d'être perçus comme parfaitement naturels par le consommateur et de ne pas poser de problème législatif.

Des essais ont été effectués pour combiner le traitement thermique à celui de l'acide lactique à des concentrations variant entre 5% et 10%. Les résultats montrent que les traitements combinés cumulent les avantages des deux traitements : une forte décontamination immédiate liée à l'effet thermique et un effet bactériostatique ou bactéricide

durant le stockage lié à l'action acide. Une véritable synergie peut même exister dans certains cas. Le traitement par l'acide lactique, naturellement présent dans les viandes et autres produits carnés, n'entraîne pas de modification organoleptique du produit et n'augmente pas significativement la teneur en acide dans la peau d'une carcasse de poulet. De plus l'application d'une solution d'acide lactique diluée après le traitement thermique pourrait faciliter le refroidissement de la carcasse et entraînerait un effet bactéricide supplémentaire pendant le stockage réfrigéré garantissant aussi une protection contre une recontamination éventuelle. Mais cet acide n'est pas encore autorisé à des fins de décontamination et pourrait ne pas bénéficier d'une image aussi positive que le traitement thermique auprès du consommateur. Les discussions en cours semblent montrer qu'une législation sur les traitements « chimiques » imposerait une phase de rinçage à l'issue de ces traitements. Un travail complémentaire serait alors nécessaire pour évaluer l'impact de ce rinçage sur l'efficacité des traitements par les acides.

Les procédés de décontamination thermique optimisés par l'Inra sont très performants à l'échelle du laboratoire et devraient être validés industriellement après la construction d'un prototype fonctionnant en abattoir. Les méthodologies développées pour optimiser le traitement thermique des carcasses de volailles pourraient être étendues aux autres types de viandes : carcasses de porcs, de bœufs... Ces procédés thermiques pourraient être complétés par un traitement à l'acide lactique si ceux-ci étaient autorisés par la législation.

B I B L I O G R A P H I E

JAMES C., JAMES S.J. (1997) Meat Decontamination - the State of the Art. Bristol, European Commission - MAFF Advanced Fellowship in Food Process Engineering - University of Bristol: 140p.

JAMES S.J., EVANS J.A. (2006) Predicting the reduction in microbes on the surface of foods during surface pasteurisation - the "BUGDEATH" project. *Journal of Food Engineering*, 76, 1-6.

KONDJOYAN A., MCCANN M., ROUAUD O., HAVET M., FOSTER A., SWAIN M., DAUDIN J.D. (2006) Modelling coupled heat-water transfers during a decontamination treatment of the surface of solid food products by a jet of hot air - II. Validations of product surface temperature and water activity under fast transient air temperature conditions. *Journal of Food Engineering*, 76, 63-69.

KONDJOYAN A., PORTANGUEN S. (2008a) Prediction of surface and "under surface" temperatures on poultry muscles and poultry skins subjected to jets of superheated steam, *Food Research International*, 41(1), 16-30.

KONDJOYAN A., PORTANGUEN S. (2008b) Effect of superheated steam on the inactivation of *Listeria innocua* surface inoculated onto chicken skin, accepté dans *Journal of Food Engineering* on line.

KOZEMPEL M., GOLDBERG N., RADEWONUK E.R., SCULLEN O.J. (2001) Modification of the VSV surface pasteurizer to treat the visceral cavity and surfaces of chicken carcasses. *Journal of Food Science*, 66, 954-959.

LECOMPTE J.-Y., KONDJOYAN A., SARTER S., PORTANGUEN S., COLLIGNAN A. Effects of combined steam and concentrated lactic acid treatments on the inactivation of *Listeria innocua* (CLIP 20-595) surface inoculated onto chicken skins (soumis dans *Int. Journal of Food Microbiology*)

MCCANN M.S., SHERIDAN J.J., MCDOWELL D.A., BLAIR I.S. (2006) Effects of steam pasteurisation on *Salmonella* Typhimurium DT104 and *Escherichia coli* O157:H7 surface inoculated onto beef, pork and chicken. *Journal of Food Engineering*, 76, 32-40.

MORGAN A. I., GOLDBERG N., RADEWONUK E. R., SCULLEN O. J., (1996) Surface pasteurization of raw poultry meat by steam. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, 29, 447-451.

VALDRAMIDIS V.P., PÉROVAL C., PORTANGUEN S., VERHULST A., VAN IMPE J.F., GEERAERD A.H., KONDJOYAN A. (2008) Quantitative evaluation of thermal inactivation kinetics of free-floating versus surface attached *Listeria innocua* cells, accepted for publication in *Food and BioProcess Technology* on line (DOI 10.1007/s11947-007-0010-5).