

## IRRADIATION DE LA VIANDE HACHÉE : Résumé du processus de soumission

### A. RÉSUMÉ DE LA SITUATION

#### (a) La demande

On a reçu une soumission en mars 1998 provenant d'une association canadienne dans le domaine de la production bovine pour le traitement par irradiation de la viande hachée fraîche ou congelée dans son emballage définitif et ce, afin de contrôler l'*Escherichia coli* O157:H7.

#### (b) Divisions de la Direction des aliments chargées d'évaluer les présentes soumissions

La Division de l'évaluation du danger des produits chimiques pour la santé (division coordonnatrice; évalue également les parties des soumissions portant sur la sécurité toxicologique, chimique et dosimétrique)

Division de l'évaluation, Bureau des dangers microbiens (évalue les aspects d'efficacité et de sécurité microbienne)

Division d'évaluation en nutrition, Bureau des sciences de la nutrition (évalue les effets nutritionnels)

### B. RÉSUMÉ DE L'ÉVALUATION

#### (a) But, source de radiation et dose (absorbée)

L'irradiation a pour but de désinfecter la viande hachée fraîche refroidie ou congelée de l'organisme pathogène appelé *Escherichia coli* O157:H7 afin de rendre ces aliments plus sûrs à la consommation des humains. La demande ne porte que sur la viande hachée (hachée finement), fraîche refroidie ou congelée, emballée et prête pour la cuisson par les consommateurs ou les chefs de la restauration ou encore, emballée et prête pour un traitement supplémentaire dans le cas où le produit est utilisé comme ingrédient dans d'autres aliments.

Les sources proposées de rayonnement ionisant sont les rayons gamma de cobalt 60 ou césium 137, les électrons accélérés jusqu'à 10 millions d'électrons volts (10MeV) et les rayons X avec des énergies de 5 MeV maximum.

Les doses proposées sont les suivantes :

Viande hachée fraîche/refroidie : dose minimum de 1,5 kGy et dose maximum de 4,5 kGy.  
Viande hachée congelée : dose minimum de 2,0 kGy et dose maximum de 7,0 kGy.

#### (b) Efficacité

Note : Les études examinées dans le cadre de l'évaluation microbienne figurent à l'annexe I du présent document.

Le pétitionnaire a fourni l'information sur l'efficacité de la dose en contrôlant l'*Escherichia*

*coli* et, en se basant sur la recherche publiée dans les ouvrages scientifiques,<sup>1,2,3,4,5</sup> il a conclu que les doses recommandées devraient amener une réduction logarithmique minimum de 3 pour le microorganisme *E. coli* O157:H7 et une réduction logarithmique moyenne de 6.

Les microbiologistes membres du personnel ont examiné l'information fournie par le pétitionnaire. Le traitement vise aussi à contrôler les pathogènes microbiens comme les suivants : *Bacillus cereus*,<sup>6</sup> *Clostridium perfringens*,<sup>7</sup> salmonellae<sup>8,9</sup> et shigellae,

---

<sup>1</sup>Thayer, D.W. and Boyd, G. 1993. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 1030-1034.

<sup>2</sup>Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B. Jr., Lakritz, L. and Hampson, J.W. 1995a. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Safety*, 60: 63-67.

<sup>3</sup>Clavero, M.R., Monk, S.J.D., Beuchat, L.R., Doyle, M.P. and Brackett, R.E. 1994. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae* and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60: 2069-2075.

<sup>4</sup>Fu, A.H., Sebranek, J.G. and Murano, E.A. 1995. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. *J. Food Sci.*, 60: 972-977.

<sup>5</sup>Thayer, D.W. 1995b. Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry. *J. Food Safety*, 15: 181-192.

<sup>6</sup>Thayer, D.W., Josephson, E.S., Brynjolfesson, A. and Giddings, G.G. 1996. *Radiation Pasteurization of Food*, CAST (Council for Agricultural Science and Technology), Issue Paper No. 7.

<sup>7</sup>Naik, G.N., Pushpa, P., Chawla, S.P., Sherikar, A.T. and Nair, P.M. 1993. Improvement of microbiological quality and shelf-life of buffalo meat at ambient temperature by gamma irradiation. *J. Food Safety*, 13: 177-183.

<sup>8</sup>Clavero et al., 1994. *Op. cit.*

<sup>9</sup>Tarkowski, J.A., Stoffer, S.C.C., Beumer, R.R. and Kampelmacher, E.H. 1984. Low dose gamma irradiation of raw meat. I. Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. *Int. J. Food Microbiol.*, 1: 13-23.

*Staphylococcus aureus*,<sup>10</sup> *Listeria monocytogenes*<sup>11,12</sup> et *Yersinia spp.*<sup>13</sup> et les formes végétatives des *Bacillus cereus*<sup>14,15</sup> et *Clostridium perfringens*<sup>16,17</sup> et d'inactiver tout parasite infectieux (ex. : *Toxoplasma gondii*, *Cystercus bovis*<sup>18</sup>), avec l'avantage de prolonger en même temps la durée de conservation de la viande refroidie / réfrigérée retardant ainsi l'apparition d'une altération perceptible et identifiable en réduisant les niveaux de micro-organismes communs, non pathogènes responsables de la détérioration de la viande..

Les questions traitées dans la soumission étaient les suivantes :

**La dose requise suffit-elle à éliminer les agents pathogènes qui nous préoccupent, spécifiquement les *Salmonella* et *E. coli*?**

Des valeurs de D pour des variations de température allant de 4° C à -18° C ont été fournies et les variations requises devraient amener une réduction logarithmique d'au moins 2 à 3 pour les *Salmonella* et *Listeria* et une réduction logarithmique d'au moins 4 pour l'*E.coli*.O157:H7.

**La viande irradiée selon la gamme de doses demandée augmente-t-elle les préoccupations de santé en raison de la survie et de la croissance de spores de *Clostridium botulinum*?**

Les spores du *C. botulinum* sont les pathogènes les plus résistants à l'irradiation trouvés dans la viande et la maladie provoquée par la toxine botulinique est considérée grave ou pouvant constituer un danger de mort. Cependant, la fréquence de spores du *C. botulinum* dans la viande est très peu élevée et la gamme de doses requise n'entraînera pas l'élimination de toute la flore bactérienne qui fait

---

<sup>10</sup>Monk, J.D., Rocelle, M.A., Clavero, S., Beuchat, L.R., Doyle, M.P. and Brackett, R.E. 1994. Irradiation inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in low- and high-fat frozen and refrigerated ground beef. *J. Food Prot.*, 57: 969-974.

<sup>11</sup>Monk et al., 1994. *Op. cit.*

<sup>12</sup>Fu et al., 1995. *Op. cit.*

<sup>13</sup>Tarkowski et al., 1984 and Fu et al., 1995. *Op. cit.*

<sup>14</sup>Thayer et al., 1996

<sup>15</sup>Grant, I.R., Nixon, C.R. and Patterson, M.F. 1993. Effect of low-dose irradiation on growth of and toxin production by *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in roast beef and gravy. *Int. J. Food Microbiol.*, 18: 25-36.

<sup>16</sup>Lostly, T., Roth, J.S. and Shults, G. 1973. Effect of irradiation and heating on proteolytic activity of meat samples. *J. Agr. Food Chem.*, 21: 275-277.

<sup>17</sup>Naik et al., 1993. *Op. cit.*

<sup>18</sup>Thayer, D.W. 1993. Extending the shelf-life of poultry and red meat by irradiation processing. *J. Food Prot.*, 56: 831-846.

concurrence. Des études<sup>19,20</sup> citées dans la soumission indiquent qu'il est à prévoir que la détérioration précéderait la toxicité même dans des conditions où le défaut thermique se produit. La réfrigération est considérée comme l'outil principal servant à réduire le développement de pathogènes comme *Salmonella*, *E. coli* et *C. prefringens* et par conséquent, les risques qui en découlent. Les souches de type protéolytique du *C. botulinum* sont celles que l'on retrouvera plus probablement dans la viande. Si la charge de spores ne dépasse pas le niveau normal de contamination (1 spore/kg), cela prendrait normalement deux semaines ou plus pour développer des toxines à des températures de 16° C ou moins. Les recherches ont établi que la grandeur de la charge de spores (nombre de spores présent dans les aliments) constitue un facteur important dans le développement des toxines et leur production par le *C. botulinum*. Lorsque le nombre de spores est faible, les chances pour qu'un développement suffisant de toxines se produise sont réduites.<sup>21</sup>

### **Les microbiologistes ont également considéré d'autres questions pouvant être soulevées concernant l'irradiation du boeuf, à savoir :**

**Est-ce que l'usage de l'irradiation pourrait changer les caractéristiques reliées à la virulence des bactéries, les rendant plus pathogènes s'ils devaient survivre au processus?**

Des chercheurs ont effectué des études très approfondies sur l'usage de l'irradiation et sur les effets sur les micro-organismes. Des études n'ont pas été effectuées jusqu'à présent sur les bactéries qui ont survécu au processus d'irradiation où la dose est conforme à la gamme requise par cette demande.

**Les méthodes utilisées pour déterminer si un produit alimentaire a été irradié par des tests de détection d'indicateurs de présence ou d'absence ou par des tests quantitatifs sont ennuyeuses et difficiles. Devrait-on retarder l'autorisation de l'irradiation jusqu'à ce que de meilleures méthodes (microbiologiques) soient en place pour respecter la réglementation?**

Des mesures de conformité pourraient être entreprises en se basant sur la tenue des dossiers,<sup>22</sup> elles seraient similaires aux mesures entreprises sur les produits stérilisés en autoclave où l'on présume le traitement pour sous-exposition. Si les dossiers sont inexacts ou incomplets, des mesures de conformité pourraient être entreprises. Des méthodes pour les tests de détection d'indicateurs de présence ou d'absence seraient disponibles et pourraient être utilisées le cas échéant. En tout cas, il existe de nombreuses méthodes physico-chimiques pour la détection des aliments irradiés, incluant le boeuf haché.

**Après avoir examiné attentivement les documents disponibles sur la sécurité microbiologique, les évaluateurs ont conclu que l'information présentée dans la soumission est suffisante pour appuyer les allégations touchant l'efficacité contre les pathogènes végétatifs aux niveaux des doses proposés. Le personnel microbiologiste a également conclu que l'irradiation selon la dose proposée n'augmentera probablement**

---

<sup>19</sup>Greenberg, R.A., Tompkin, R.B., Bladel, B.O., Kittaka, R.S. and Anellis, A. 1966. Incidence of mesophilic *Clostridium* spores in raw pork, beef and chicken in processing plants in the United States and Canada. *Appl. Microbiol.*, 15: 789-793.

<sup>20</sup>Hauschild, A.H.W. 1989. *Clostridium botulinum*. In *Foodborne Bacterial Pathogens*, M.P. Doyle (ed.), (New York: Marcel Dekker, Inc., 1993), pp. 111-189.

<sup>21</sup>Lucke, F.-K, and Roberts, T.A. *Control in Meat and Meat Products*. In *Clostridium botulinum Ecology and Controls in Foods*, A.H.W. Hauschild and K.L. Dodds (eds.). 1993.

<sup>22</sup>La tenue des dossiers est exigée en vertu de l'article B.26.004 figurant dans le Règlement sur les aliments et drogues au Canada.

pas les dangers microbiens provoqués par *C. botulinum*. Le personnel microbiologiste est favorable à l'irradiation des viandes rouges en général.

Le pétitionnaire a proposé un protocole d'irradiation faisant partie de la demande pour la viande hachée qui figure dans l'annexe V du présent document.

#### **Emballage**

Les viandes doivent être emballées avant l'irradiation afin d'éviter une nouvelle contamination. Tel que mentionné dans le premier paragraphe de la partie (a) ci-dessus, l'idée est de traiter la viande qui est emballée avant l'irradiation.

#### **(c) Dosimétrie**

Le pétitionnaire propose que les méthodes dosimétriques à utiliser soient celles publiées par l'American Society for Testing Materials (ASTM) (1987; 1988; 1991)<sup>23</sup>, la Commission du Codex Alimentarius (1992)<sup>24</sup> et Chadwick and Osterheert (1986)<sup>25</sup>. De plus, le pétitionnaire fait référence à différentes autres directives publiées pour l'irradiation de la viande rouge<sup>26,27</sup>.

#### **(d) Altération des caractéristiques chimiques, physiques et microbiologiques**

**Note : Les études examinées sous cette rubrique figurent à l'annexe II du présent document.**

<sup>23</sup>Standard Practice for application of Dosimetry in the Characterization and operation of a Gamma Irradiation Facility for Food Processing (Designation E 1204-87) in Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02, 1987; Standard Guide for selection and application of Dosimetry Systems for Radiation Processing of Food (Designation E 1261-88) in Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.0, 1988; Standard Practice for Dosimetry and Bremsstrahlung Irradiation Facilities for Food Processing (Designation E 1431-91) in Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02, 1991.

<sup>24</sup>Codex General Standard for Irradiated Foods, CODEX STAN 106-1983, in Codex Alimentarius, Vol. 1, Section 8 (Rome: FAO/WHO, 1992, pp. 311-315. Recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used in the treatment of foods, CAC/RCP 19-1979 (Rev. 1) in Codex Alimentarius, Vol. 1, Section 8.1 Rome: FAO/WHO 1992 pp. 317-323.

<sup>25</sup>Chadwick, K. H. and Oosterheert, W. F. 1986. Dosimetry concepts and measurement in food irradiation processing *Int. J. Rad. Appl. Instr. (Part A)*, 37(1): 47-52.

<sup>26</sup>International Consultative Group on Food Irradiation. 1988. Provisional guidelines for the irradiation of fresh and frozen Red Meats and Poultry to control pathogens. Also, Irradiation of red meat: A compilation of technical data for its authorization and control. IAEA-TECDOC-902.

<sup>27</sup>Standard Guide for the Irradiation of Fresh and Frozen Meats and Poultry (to control pathogens) (Designation F 1356-91) in Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02, 1993.

i. Odeur :

Le rapport entre la production d'odeurs (odorat) et la dose est linéaire jusqu'à 140 kGy. L'odeur est le résultat de la production de plus de 100 composés volatiles, dont les composants principaux sont les hydrocarbures-aliphatiques générés par la décomposition des matières grasses. Les composés dérivés des protéines comme les composés sulfurés et les hydrocarbures aromatiques constituent moins de 1 % du total, et les composés oxygénés sont également relativement moins abondants<sup>28</sup>. L'usage de température de refroidissement ou de congélation au cours du processus d'irradiation peut diminuer de beaucoup le développement de l'odeur atypique de l'irradiation.<sup>29,30,31</sup> On a observé que les odeurs atypiques formées dans les viandes emballées avant l'irradiation se dissipaient rapidement après exposition à l'atmosphère pendant quelques minutes. On pouvait différencier les échantillons irradiés à 6 kGy des produits contrôlés, mais il n'y avait aucune différence importante dans leur préférence tel qu'évaluée sur une échelle de 1 (extrêmement désagréable) à 9 (extrêmement agréable). On a coté les échantillons irradiés à 6 et à 8 kGy comme étant moins acceptables que les contrôles<sup>32</sup>. L'augmentation de la dose de radiation a semblé diminuer l'acceptabilité de l'odeur du boeuf haché cru, particulièrement après un certain temps. Cependant, l'odeur disparaît pratiquement au moment de la cuisson.<sup>33</sup>

ii. Apparence/couleur :

La couleur de la viande est stable ou peut être améliorée aux doses d'irradiation proposées quoiqu'il peut se produire une détérioration de la couleur à court terme à des

---

<sup>28</sup>Merritt, C. Jr., Angelini, P., Graham, R.A. 1978. Effect of radiation parameters on the formation of radiolysis products in meat and meat substances. *J. Agric. Food Chem.*, 26(1): 29-35.

<sup>29</sup>Urbain, W.M. 1986. Food irradiation. In *Meats and Poultry*. Academic Press.

<sup>30</sup>Dempster, J.R. 1985. Radiation preservation of meat and meat products: a review. *Meat Sci.*, 12(2): 61-89.

<sup>31</sup>Merritt, C. Jr. et al., 1978. *Op. cit.*

<sup>32</sup>Rhodes, D.N. and Shepherd, H.J. 1966. The treatment of meats with ionizing radiations. XIII. Pasteurisation of beef and lamb. *J. Sci. Food Agric.*, 17: 287-297.

<sup>33</sup>Lefebvre, N., Thibault, C., Charbonneau, R. and Piette, J.-P.G. 1994. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation. 2. Chemical analysis and sensory evaluation. *Meat Science*, 36: 371-380.

niveaux plus élevés. La cuisson annule tous les effets de couleur.<sup>34, 35, 36,37,38</sup>

iii. Durée de conservation (Viande rouge crue) :

Même si l'objectif primaire explicite de l'irradiation de la viande est le contrôle des agents pathogènes, selon les références fournies par le pétitionnaire, le temps de délai du déclenchement de la détérioration microbienne identifiable pour la viande fraîche et la viande pré-congelée dégelée est un avantage « inévitable » et qui va de pair avec la radiopasteurisation. Les conclusions auxquelles divers chercheurs sont arrivés indiquent que les micro-organismes sont généralement plus sensibles à la radiation dans le boeuf haché à teneur élevée en gras et soutiennent moins la croissance des micro-organismes qui survivent que dans le boeuf haché à faible teneur en gras. Les études indiquent que la détérioration a été retardée de plus d'une semaine à des doses d'environ 1 kGy et est demeurée faible après 21 jours. Une réduction de la détérioration a aussi été démontrée

---

<sup>34</sup>Kropf, D.H., Hunt, S.E., Luchsinger, S.E., Garcia Zepeda, C.M., Chambers, E., Hollingsworth, M.E., Stroda, S.L., Rubio Cassas, E.J. and Kastner, C.L. 1996. Sensory analysis, colour and product life of low-dose irradiated beef and pork. *Activities Report/Research and Development Associates for Military*, 47(2): 327-345.

<sup>35</sup>Lefebvre, N. *et al.*, 1994, *Op. cit.*

<sup>36</sup>Fu, A.-H., Sebranek, J.G. and Murano, E.A. 1995. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. *J. Food Science*, 60(5): 972-977.

<sup>37</sup>Millar, S.J. 1995. The effect of ionizing radiation in the appearance of meat. *Dissertation Abstract International*, C-56(4): 907.

<sup>38</sup>Risvik, E. 1986. Sensory evaluation of irradiated beef and bacon. *J. Sensory Studies*, 1: 109-122.

dans le porc et l'agneau.<sup>39, 40, 41,42,43,44,45,46,47,48</sup>

iv. Composition :

**Tel que discuté à l'article i. ci-dessus, le principal changement chimique est la formation de petites quantités de produits radiolytiques (PR), dont un certain nombre est volatile. Les produits radiolytiques formés suite à l'irradiation ont été examinés et évalués de façon approfondie au cours des quelques dernières années. Le rapport final de juillet 1980 du comité des aliments irradiés du FDA Bureau d'alors déclare « qu'on s'attendrait à ce que des aliments ayant une composition chimique semblable génèrent des produits**

<sup>39</sup>Beuchat, L. B., Doyle, M. P. and Brackett, R. E. 1993. Irradiation inactivation of bacterial pathogens in ground beef. *Univ. of Georgia Center for Food Safety and Quality Enhancement report to the American Meat Institute*, September, 1993.

<sup>40</sup>Dempster, J. F., Hawrysh, Z.J., Shand, P., Lahola-Chomiak, L. and Corletto, L. 1985. Effect of low dose irradiation (radurization) on the shelf life of beefburgers stored at 3°C. *J. Food Technology*, 120: 145-154.

<sup>41</sup>Ehioba, R.M., Kraft, A.A., Molins, R.A., Walker, H.W., Olson, D.G., Subbaraman, G. and Skowronski, R.P. 1988. Identification of microbial isolates from vacuum-packaged ground pork irradiated at 1kGy. *J. Food Science*, 53: 278-281.

<sup>42</sup>Maxcy, R. B., Tiwari, N.P. and Anagnostis, C.C. 1971. Study of control of public health problems using irradiation. *Annual Report to the division of Isotopes Development*, U.S. Atomic Energy Commission on Contract AT(11-1)-2038.

<sup>43</sup>Maxcy, R. B. and Tiwari, N.P. 1973. Irradiation of meats for public health protection. *Radiation Preservation of foods: Proceedings of a Symposium*. STI/PUB/317, IAEA, Vienna, pp. 491-503.

<sup>44</sup>Maxcy, R.B. 1982. Irradiation of food for public health protection. *J. Food Protection*, 45: 363-366.

<sup>45</sup>Niemand, J.G., Van der Linde, H.J. and Holzapfel, W.H. 1983. Shelf-life extension of minced beef through combined treatments involving radurization. *J. Food Protection*, 46: 791-796.

<sup>46</sup>Paul, P., Venugopal, V. and Nair, P.M. 1990. Shelf-life enhancement of lamb meat under refrigeration for gamma radiation: A research note. *J. Food Science*, 55: 865-866.

<sup>47</sup>Urbain, W.M. and Giddings, G.G. 1972. Factors related to market life extension of low dose irradiated fresh meat and poultry. *Radiation Research Reviews*, 3: 389-397.

<sup>48</sup>Urbain, W.M. 1973. The low-dose radiation preservation of retail cuts of meat. *Radiation Preservation of Food: Proceedings of a Symposium*, STI/PUB/317. IAEA, Vienna, pp. 505-521.



radiolytiques structurellement semblables ». Des études récentes<sup>49, 50</sup>, indiquent, entre autres choses, que même si les rapports varient entre les espèces, les principaux acides gras des fractions lipides du poulet, de la dinde, du porc et du boeuf sont les mêmes, comme le sont leurs produits de radiolyse prévisibles. Le département de l'Agriculture des É.-U. s'est approprié les travaux importants entrepris par Merritt<sup>51</sup> pour les Natick Research Laboratories de l'armée américaine sur l'identification/la production de produits radiolytiques, et les a publiés en 1984. Merritt a entrepris plusieurs études sur les produits radiolytiques dans le boeuf plus spécifiquement.<sup>52,53,54</sup>

Toutes les preuves disponibles indiquent que les produits formés lors de l'irradiation de la viande à 0-5°C et dans un état congelé sont semblables. Il n'y a aucune preuve de différences importantes dans les identités des produits formés suite à l'irradiation aux deux gammes de température. Les rendements des produits sont, cependant, généralement plus faibles dans les viandes congelées. Les rendements sont également reliés à la dose.<sup>55, 56, 57, 58</sup>

Parmi l'ensemble complet des données acheminé au FDA par le USDA en 1984 figurait une

<sup>49</sup>Morehouse, K.M. and Ku, Y. 1993. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. *Radiat. Phys. Chem.*, 42: 359-362.

<sup>50</sup>Morehouse, K.M., Kiesel, M. and Ku, Y. 1993. Identification of meat treated with ionizing radiation by capillary gas chromatographic determination of radiolytically produced hydrocarbons, *J. Agric. and Food Chem.*, 41: 758-763.

<sup>51</sup>Merritt, C. Jr. 1984. Radiolysis compounds in chicken and bacon. Final Report. September 18, 1981 -September 20, 1982. EERC/ARS-83. NTIS Order No. PB84-187095.

<sup>52</sup>Merritt, C. Jr. 1980. The analysis of radiolysis products in meats and meat substances. *Food Irr. Info.*, 10: 20-33.

<sup>53</sup>Merritt, C. Jr., Angelini, P. and Graham, R.A. 1978. *Op. cit.*

<sup>54</sup>Merritt, C. Jr., Angelini, P. and Nawar, W.W. 1978. Chemical analysis of radiolysis products relating to the wholesomeness of irradiated food. From *Food Preservation by Irradiation*, Vol. II; IAEA, Vienna, 1978, pp. 97-112. IAEA Paper No. IAEA-SM-221/51.

<sup>55</sup>Merritt, C, Jr. *et al.* 1978. *Op. cit.*

<sup>56</sup>Nawar, W, W, and Balboni, J. J. 1970. Detection of irradiation treatment in foods, *J. Assoc. Analyt. Chem.*, 53: 726.

<sup>57</sup>Nawar, W. W. 1986. Volatiles from food irradiation, *Food Reviews International*, 21: 45.

<sup>58</sup>Spiegelberg, A., Schulzki, G., Helle, N., Bogl, K. W. and Schreiber, G. A. 1994. Methods of routine control of irradiated food: optimization of a method for the detection of radiation-induced hydrocarbons and its application to various foods, *Radiat. Phys. Chem.*, 43: 433.

étude effectuée par le Bureau de la Recherche des sciences de la vie de la Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB) et qui s'intitulait : "Evaluation of the Health Aspects of Radiolytic Compounds found in Irradiated Beef."<sup>59</sup> Soixante-cinq composés radiolytiques ont été étudiés dans le boeuf irradié à une dose moyenne de 56 kGy.

Voici un résumé des résultats :

- (1) Les quantités de composés individuels allaient de 1 à environ 700 ppb ou 0,7 ppm.
- (2) Les hydrocarbures étaient les composés les plus abondants, tant au niveau du nombre que de la quantité (70 % de toutes les substances qui comprennent 90 % du poids total des composés recueillis entre dans cette catégorie).
- (3) La présence de composés aliphatiques saturés (c.-à-d. les alcanes) prédominait et leur teneur dépassait le nombre total combiné d'alcènes et d'alcynes de 1,5 fois et d'hydrocarbures aromatiques de plus de 60 fois.
- (4) La plupart des hydrocarbures aliphatiques étaient en grande partie plus abondants dans le boeuf irradié que dans le boeuf non-irradié. Cependant, les quantités de xylène et de tétrachloroéthylène étaient essentiellement les mêmes que le boeuf soit irradié ou non.<sup>60</sup> Il y avait de plus grandes quantités d'acétonitrile, de sulfure de carbonyle, de disulfure de diméthyle, de méthanol et de méthyl heptane dans les échantillons stérilisés thermiquement que dans les échantillons irradiés.
- (5) La chaleur a causé une perte importante de composés volatiles ; ainsi, les concentrations dans les échantillons cuits étaient presque toujours plus basses que dans le boeuf cru. Par conséquent, l'éthane, par exemple, était présent dans les échantillons crus irradiés, mais on ne pouvait le détecter dans les échantillons cuits. Le méthane, qui est encore plus volatile, n'était pas présent dans le boeuf cuit ni dans le boeuf cru, bien que théoriquement, l'irradiation aurait dû en produire des quantités considérables.

Les données examinées par le comité du FDA au début des années 80 indiquent qu'une dose peu élevée d'irradiation ne produirait pas plus que 30 parties de PR par million d'aliments. De ces 30 parties, environ 90 %, ou 27 parties par million, ont été identifiées comme étant identiques aux composés des aliments naturels et par conséquent, ils sont connus. Le 10 % qui reste, ou 3 parties par million, étaient chimiquement similaires aux composés des aliments naturels. Le comité a conclu qu'il y avait peu de chances qu'il se forme en grandes quantités un produit radiolytique unique (PRU) de toxicité inhabituelle.

---

<sup>59</sup>Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB). Life Sciences Research Office. Select Committee on Health Aspects of Irradiated Beef, Herman J. Chin, Chairman). August, 1977 and March, 1979. Evaluation of the Health Aspects of Radiolytic Compounds Found in Irradiated Beef. NTIS Order No. PB84-187087.

<sup>60</sup>Le Comité spécial a jugé que ces deux composés sont d'origine non-radiolytique. La présence du xylène était attribuée aux composés des joints d'étanchéité pour les couvercles de conserves et le tétrachloroéthylène provient des procédés de nettoyage et de dégraissage utilisés dans les installations de traitement des viandes.

Les représentants du FDA ont reconnu et évalué la formation de benzène lorsque la viande était irradiée à une dose plus élevée de plus de quinze fois que celle autorisée par le FDA. La quantité de benzène trouvée atteignait 1 % de celle rapportée dans les oeufs non-irradiés.

Malgré l'évaluation du FDA, le Bureau d'innocuité des produits chimiques a effectué sa propre évaluation sur l'absorption du benzène qui provient des aliments, incluant le boeuf irradié. Un taux de 15 +/- 5,1 parties par milliard (ppb) de benzène est présent dans le boeuf irradié au Co-60 et de 14 +/- 5,0 ppb dans le boeuf irradié par électrons à une dose moyenne de 56 kGy. Il a été démontré que la formation du benzène dans le boeuf irradié est proportionnelle à la dose d'irradiation. Le niveau de benzène prévu serait d'environ 3 ppb dans la gamme de doses (1,5-4,5 kGy) requise par le pétitionnaire pour le boeuf frais.

Le benzène, le toluène et le xylène ont été rapportés dans de nombreux aliments, incluant la viande, les légumes, les noix, les produits laitiers et les boissons. De grandes quantités de benzène ont été rapportées dans le boeuf cuit et dans le ragoût de boeuf en boîte. Le benzène et le toluène (et non le xylène) ont également été détectés dans les fruits, le poisson et les oeufs.

Les oeufs sont particulièrement riches en hydrocarbures aromatiques à cause de leur teneur en benzène et en toluène ; selon les estimations, le boeuf irradié en contiendrait une quantité cent fois plus élevée.<sup>61</sup> De grandes quantités de ces deux composés ont également été identifiées dans l'aiglefin réfrigéré pendant 14 jours; des quantités aussi élevées que 200 ppb de benzène et 500 ppb de toluène. En appliquant les dernières données du Eater's Only Food Consumption Survey à l'aiglefin (121,85 g/jour) qui contient 200 ppb (ug/kg) de benzène et au boeuf haché (97,22 g/jour) qui contient 3 ppb de benzène, les taux d'absorption correspondraient respectivement à 24,37 et à 0,29 ug.

Dans une évaluation des dangers pour la santé effectuée en 1992, le benzène a été cité comme étant très répandu dans l'environnement et les voies d'exposition principales citées sont : le travail, l'atmosphère, les aliments et l'eau potable. En constatant que le benzène est présent dans le beurre, le boeuf, le boeuf irradié, les oeufs à la coque, l'aiglefin, les oranges, les mangues et différents fruits, une évaluation des risques pour la santé a été effectuée. Les chercheurs ont conclu que l'absorption quotidienne de benzène par les aliments pour le consommateur moyen était de 0,12 ug/kg bw/jour ou 9,3 % de la partie inférieure de la gamme de dose journalière admissible (DJA ; 1,26 - 2,7 ug/kg bw/jour) et ce, en supposant une ration alimentaire moyenne pour toutes les personnes pour chaque aliment. La concentration de benzène figurant dans cette appréciation des risques pour la santé concernant le boeuf irradié était de 19 ppb, plus de 6 fois la quantité de benzène identifiée dans le boeuf irradié. Par conséquent, le risque relié au benzène qui provient du boeuf irradié est considéré négligeable.

Le Bureau d'innocuité des produits chimiques a également effectué une appréciation différente des risques sur le 2-dodécylcyclobutanone (2-DCB), un composant radiolytique unique d'alkylcyclobutanone (ACB) repéré dans les aliments contenant des matières grasses comme le poulet ou le boeuf. Pour autant que ce composant soit unique aux aliments irradiés contenant des matières grasses, il s'est avéré utile à titre de "composant-

---

<sup>61</sup>Les quantités citées dans une évaluation des risques pour la santé effectuée en 1992 de Santé Canada étaient de 150 à 1 900 ppb dans les oeufs crus, mais seulement de 2 ppb dans les oeufs à la coque.

marqueur” dans la détection des aliments irradiés. Cependant, à cause de son caractère “unique,” les chercheurs ont également jugé opportun d’entreprendre une évaluation de la sécurité reliée à sa présence dans les aliments irradiés contenant des matières grasses comme le poulet ou le boeuf, compte tenu des préoccupations concernant son éventuelle génotoxicité.<sup>62</sup>

(e) **Emballage**

Par rapport aux matériaux d’emballage spécifiques pouvant être utilisés sur les aliments en vente au Canada, des lettres d’avis sont offertes sur demande aux fabricants de matériel d’emballage lors de la présentation des données techniques appropriées, y compris les données d’extraction. On suit la même procédure volontaire dans le cas des matériaux d’emballage des aliments devant être irradiés. Dans tous les cas, les lettres d’avis tiennent compte des exigences de l’article B.23.001 du Règlement qui dit que « Est interdite la vente d'un aliment dont l'emballage peut transmettre à son contenu une substance pouvant être nuisible à la santé d'un consommateur de l'aliment. »

(f) **Aspects nutritionnels**

Les évaluateurs en hygiène alimentaire ont examiné les rapports présentés par le pétitionnaire ainsi que d’autres documents scientifiques obtenus suite à une recherche documentaire indépendante touchant les effets de l’irradiation sur le contenu et la composition des lipides, des protéines et des aminoacides, et le contenu des vitamines et des minéraux. La documentation scientifique disponible comprend l’irradiation de viandes intactes ou hachées finement de porc, de poulet, d’agneau et autres viandes rouges, y compris le boeuf. Les études examinées sont incluses à l’annexe III.

On a évalué les effets de l’irradiation mentionnés dans les études quant à la contribution du boeuf haché à l’apport de ces éléments nutritifs. Également, on a comparé les effets de l’irradiation aux effets d’autres processus où les données étaient disponibles et on a les évalués quant au rapport entre l’irradiation et d’autres types de traitement qu’on appliquerait probablement au boeuf haché. On doit toujours tenir compte de l’impact sur la composition nutritive et la biodisponibilité lorsqu’on décide du besoin d’utiliser des techniques particulières de traitement en vue d’obtenir des niveaux de sécurité de contamination microbienne ou d’éliminer les contaminants ou de donner aux aliments un goût plus agréable et ainsi les rendre plus comestibles et digestibles. La plupart des méthodes de traitement des aliments éliminent les éléments nutritifs d’une manière ou d’une autre bien qu’elles puissent rendre certains éléments nutritifs plus biodisponibles et les éléments nutritifs qui restent dans les produits alimentaires plus accessibles à la consommation en les rendant plus comestibles. Il faut tenir compte de l’impact de l’irradiation gamma sur la valeur nutritionnelle des aliments dans ce contexte.

Le boeuf haché contient des niveaux importants de plusieurs éléments nutritifs, y compris la niacine, la riboflavine, la vitamine B6, la vitamine B12, les lipides, les protéines et les minéraux. On a déterminé l’importance de ces éléments nutritifs dans un aliment donné en identifiant les éléments nutritifs présents dans un apport quotidien raisonnable de

---

<sup>62</sup>Delincée, H. and Pool-Zobel, B.L. 1998. Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat. *Radiat. Phys. Chem.*, 52(1):39-52.

l'aliment à 10 % ou plus de l'apport nutritionnel recommandé pondéré (ANRP)<sup>63</sup>. De l'examen des données touchant les effets de l'irradiation sur les éléments nutritifs dans le boeuf haché découle la conclusion qu'on peut prévoir que l'irradiation aux doses proposées peut réduire la teneur en thiamine et possiblement en riboflavine et en niacine dans le boeuf haché. Ces éléments nutritifs étaient les seuls affectés. Les vitamines sont les éléments nutritifs les plus sensibles à la radiation. La thiamine est la vitamine la plus sensible à la radiation parmi les vitamines d'importance dans le boeuf. La thiamine est présente dans le boeuf haché à moins de 10 % de l'ANRP. On a évalué l'impact de l'irradiation sur celle-ci en raison de sa sensibilité. Les pertes de thiamine indiquées dans la documentation variaient de 28 à 59 % à une dose d'irradiation de 5 kGy. La variation était principalement due à la température de l'aliment au cours de l'irradiation. À cause de leur stabilité inhérente, les vitamines B6 et B12 manifestent peu ou pas d'effets d'irradiation avec les doses proposées. Certaines études ont démontré que l'irradiation semble augmenter plutôt que diminuer les teneurs en niacine, riboflavine, vitamine B6 et vitamine B12, mais cet effet est incohérent et inexplicé.

Quoique l'impact de la thiamine a été évalué dans le boeuf haché comme contributeur de l'apport de thiamine dans le régime alimentaire, cet aliment a un impact mineur. Ainsi, l'importance pour l'ensemble du régime alimentaire de la perte de la thiamine dans le boeuf haché causée par l'irradiation est sans conséquence. Dans le même ordre d'idées, la perte possible de niacine et de riboflavine dans l'ensemble du régime alimentaire serait également, tout au plus, peu importante suite à l'irradiation du boeuf haché aux niveaux des doses proposés.

Il faut noter que la cuisson cause également une perte importante de thiamine et les effets combinés de la cuisson et de l'irradiation, qui, individuellement, sont destructives, sont peut-être plus importants que la somme des deux. En général, on a constaté que les pertes de thiamine peuvent être réduites en diminuant la dose d'irradiation, en réduisant la température du produit de viande au cours de l'irradiation, et en irradiant dans des conditions d'anaérobiose.

Il existe peu de rapports de résultats de recherche expérimentale sur l'effet de l'irradiation sur les minéraux dans les aliments. La plupart des conclusions touchant les minéraux sont basées sur les hypothèses au sujet de la chimie de l'irradiation et des minéraux. Cependant, ces hypothèses sont raisonnables, puisque l'impact du rayonnement ionisant aux doses d'irradiation des aliments est, tout au plus, de briser les liens intermoléculaires et de produire des ions et des radicaux libres de courte durée. Ainsi, les éléments minéraux demeureraient essentiellement inchangés. Dans un rapport, on mentionne que le fer peut changer de l'état oxydé à l'état réduit qui pourrait avoir un impact sur la biodisponibilité, mais cela se produit également au cours de la cuisson et de l'entreposage.

De nombreuses études ont démontré que l'irradiation n'affecte pas de façon importante les macro-éléments dans les aliments (lipides, protéines et glucides).

On conclut que les pertes d'éléments nutritifs dans le boeuf haché irradié se limitent aux vitamines, à la thiamine et possiblement, à la riboflavine et à la niacine, et que ces pertes

---

<sup>63</sup> Les apports nutritionnels recommandés pondérés sont énumérés dans le *Règlement sur les aliments et drogues*, Tableau II de la partie D, titre 1 (vitamines) et le Tableau II de la partie D, titre 2 (minéraux).

ne sont pas importantes. Dans le cas de la thiamine, cela est dû à la contribution mineure du boeuf haché à l'apport en thiamine dans le régime alimentaire canadien, et dans le cas de la riboflavine et de la niacine, cela est dû aux faibles taux de perte prévue, si on en prévoit une. Cependant, comme pour toute transformation d'aliments, il y a lieu d'adopter une bonne pratique de fabrication afin de minimiser les pertes inutiles, ce qui peut se faire en administrant la dose de radiation la plus faible et efficace possible, en utilisant des milieux à atmosphère appauvri en oxygène et une faible température pour le produit au cours de l'irradiation.

Étant donné que l'effet de l'irradiation augmente avec la dose, si l'on propose à un moment donné dans l'avenir des doses d'irradiation beaucoup plus élevées ou des températures plus élevées pour le produit au cours de l'irradiation (au-delà de la température de réfrigération), il y aura peut-être lieu de réexaminer cette recommandation.

(g) Études toxicologiques

Les bases de données toxicologiques examinées pour les soumissions mentionnées plus haut concernant les viandes rouges / le boeuf haché comprenaient environ 9 études de chronicité et 3 études de reproduction chez les rongeurs (souris et rats) et les chiens où le boeuf, seul ou combiné à d'autres sources de protéines (poisson, porc, produits laitiers), était irradié à des doses de 27,9 à 93,0 kGy. Les preuves fournies indiquent que la consommation d'une variété d'aliments irradiés par des animaux de laboratoire ont démontré aucun effet sur la croissance, la longévité, la capacité de reproduction et l'incidence de tumeurs spontanées. On n'a trouvé aucune indication à l'effet que l'irradiation des viandes rouges donnerait lieu au fait que celles-ci représenteraient une source importante de produits d'oxydation du cholestérol / des lipides (COP /LOP) ou que la radiothérapie de la viande provoquerait une exposition plus importante à ces composés comparée aux niveaux qui se forment au moyen des pratiques types de préparation et d'entreposage des aliments. Il faudrait noter que la majorité des animaux participant aux expériences de reproduction ont eu besoin de suppléments vitaminiques additionnels afin de compenser pour la destruction de vitamines liposolubles causée par les doses élevées d'irradiation.

Le personnel toxicologue a conclu que les niveaux et types de produits radiolytiques générés dans un aliment particulier sont directement proportionnels à la dose d'irradiation et qu'il n'existe aucunes préoccupations toxicologiques aux niveaux des doses absorbées relativement à la soumission d'irradiation du boeuf haché demandée par le pétitionnaire.

Les études toxicologiques examinées sont incluses à l'annexe IV du présent document.

C. MODIFICATION PROPOSÉE

Les nouveaux points<sup>64</sup> proposés à ajouter au Tableau du Titre 26 se présentent comme suit :

---

<sup>64</sup>Les points 5, 6 et 7 sont réservés aux mangues, à la volaille et aux crevettes respectivement.

Point	Colonne I Aliments	Colonne II Sources de rayonnement ionisant permises	Colonne III But du traitement	Colonne IV Dose absorbée permise
8,1	Boeuf haché frais/refroidi	Cobalt 60, césium 137, électrons provenant de sources mécaniques (10 MeV max.) ou rayons X (5 MeV max.)	Contrôler les agents pathogènes, réduire la charge microbienne et prolonger la durée de conservation.	1,5 kGy (minimum) 4,5 kGy (maximum)
8,2	Boeuf haché congelé	Cobalt 60, cesium 137, électrons provenant de sources mécaniques (10 MeV max.) ou rayons X (5 MeV max.)	Contrôler les agents pathogènes, réduire la charge microbienne et prolonger la durée de conservation.	2,0 kGy (minimum) 7,0 kGy (maximum)

#### D. CONSULTATION

Tel qu'indiqué plus haut, on a consulté les groupes suivants sur la sécurité et la qualité nutritionnelle et l'efficacité des radiothérapies aux doses proposées :

- Division de l'évaluation toxicologique, Division de l'évaluation du danger des produits chimiques pour la santé
- Division de l'évaluation, Bureau des dangers microbiens
- Division d'évaluation en nutrition, Bureau des sciences de la nutrition.

#### *Consultation auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments*

L'évaluation de l'Agence canadienne d'inspection des aliments traite de plusieurs enjeux que d'autres organismes doivent aborder, c.-à-d. La Commission canadienne de sûreté nucléaire, Environnement Canada, Sécurité et santé au travail. Les premières préoccupations de l'ACIA étaient les suivantes : l'établissement de l'étiquetage de la date de consommation recommandée, l'établissement des exigences du HACCP, les exigences relatives au matériel d'emballage et les questions d'importation ou d'exportation. Cependant, aucun de ces enjeux ne devrait justifier le report de la mesure réglementaire au sujet de cette soumission.

#### *Un institut canadien important en matière de nutrition*

Cet institut a indiqué que tous peuvent profiter du choix d'aliments irradiés, mais particulièrement ceux à plus grand risque (p. ex., les personnes dont le système immunitaire est affaibli, comme les greffés et les personnes atteintes de cancer et du VIH/sida, et celles dans les hôpitaux et les établissements de soins de longue durée). Un autre bénéfice serait les coûts directs réduits suite aux intoxications alimentaires : frais d'hôpital et médicaux, perte de revenu, coûts d'enquêtes et perte aux fournisseurs en produits alimentaires.

Cet institut a également exprimé les besoins en matière d'éducation, d'étiquetage, de

**bonnes pratiques de fabrication et de HACCP.**

***Soutien et attestations de l'extérieur :***

**Une association qui représente l'industrie canadienne du traitement de la viande recommande que l'irradiation soit approuvée par Santé Canada et l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) relativement aux produits de viande hachée et que l'irradiation couvre également tous les produits de viande rouge.**

**Direction des aliments  
Direction générale des produits de santé et des aliments  
Santé Canada  
Le 29 octobre 2002**



**ANNEXE I**

Études microbiologiques examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié

**ANNEXE II**

Études examinées dans l'évaluation de l'altération des caractéristiques physiques et chimiques

**ANNEXE III**

Études sur la nutrition examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié

**ANNEXE IV**

Études toxicologiques examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié

**ANNEXE V**

Protocole d'irradiation proposé pour l'irradiation du boeuf

**ANNEXE I****Études microbiologiques examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié**

- Aguirre M. and M.D. Collins. 1993. Lactic acid bacteria and- human clinical infection. *J. Appl. Bacteriol.* 75: 95-107.
- Aker, S.N.. 1984. On the cutting edge of dietetic science: Irradiation of hospital food for patients with reduced immuno-responses. *Nutrition Today* July/August, 1984.
- Altekruse, S.F., Cohen, M.L. and Swerdlow, D.L. 1997. Emerging foodborne diseases. *Emerging Infectious Diseases* 3(3): 285-293.
- American Meat Institute Foundation. 1993. Consumer Awareness, Knowledge and Acceptance of Food Irradiation. November, 1993.
- Anderson, I. 1989. Food Irradiation: An Alternative Food Processing Technology. Agriculture Canada, Agri-Food Development Branch.
- Anellis, A., Shattuck, E., Morin, M., Srisara, B., Qvale, S., Rowley, D.B. and Ross, E.W. Jr. 1977. Cryogenic gamma irradiation of prototype pork and chicken and antagonistic effect between *Clostridium botulinum* types A and B. *Appl. Microbiol.* 34: 823-831.
- Anonymous. 1997. E. coli food irradiator. *USDA ARS News*. Feb. 12 1997.
- Anonymous. 1996. Position of the American Dietetic Association: Food Irradiation. *J. Amer. Dietetic Assoc.* 96 (1): 69-72.
- Anonymous. 1995. Consumer reaction to irradiation still being studied. *Feedstuffs*, October 2 1995.
- Beers, K.N. and Mohler, S.R. 1985. Food poisoning as an in-flight safety hazard. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, June 1985.
- Berg, G. 1978. Indicators of Viruses in Water and Food. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan.
- Beuchat, L.B., Doyle, M.P. and Brackett, R.E. Irradiation inactivation of bacterial pathogens in ground beef. Univ. of Georgia Center for Food Safety & Quality Enhancement. Report to the American Meat Institute, September 1993.
- Blickstad, E. and Molin, G. 1988. Numerical taxonomy of psychrotrophic lactic acid bacteria from prepacked meat and meat products. *Antonie van Leeuwenhoek* 54: 301-323.
- Bruhn, C.M. 1995a. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J. Food Prot.* 58(2): 175-181.
- Bruhn, C.M. 1995b. Strategies for communicating the facts on food irradiation to consumers. *J. Food Prot.* 58 (1): 213-216.
- Bruhn, C.M. 1993. Setting the record straight about food irradiation. *Dairy, Food and Environmental Sanitation* 13 (4): 220-221.
- Bruhn, C.M., Sommer, R. and Schutz, H.G. 1986. Effect of an educational pamphlet and posters on attitude toward food irradiation. *J. of Indust. Irradiation Tech.* 4(1): 1-20.

Buchanan, R.L. and Palumbo, S.A. 1985. *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas sobria* as potential food poisoning species: a review. *J. Food Safety* 7: 15-29.

Burslem, C.D., Kelly, M.I. and Preston, F.S. 1990. Food poisoning -a major threat to airline operations. *J. Soc. Occup. Med.* 40: 97-100.

CAC 1990. Food Safety in Canada: A Survey of Consumer Attitudes and Opinions. Consumers Association of Canada.

Carter, A.O., Borczyk, A.A., Carlson, I.A.K, Harvey, B., Hockin, I.C., Karma1i, M.A, Krishnan, C., Korn, D.A. and Lior, H. 1987. A severe outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 associated hemorrhagic colitis in a nursing home. *New England J. Med.* 317(24): 1496-1500.

Clavero, M.R, S.J.D. Monk, L.R. Beuchat, M.P. Doyle, and R.E. Brackett. 1994. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae*, and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 2069-2075.

Collins, C.I., Muranot E.A. and Wesley, I. V. 1996. Survival of *Arcobacter butzleri* and *Campylobacter jejuni* after irradiation treatment in vacuum-packaged ground pork. *J. Food Prot.* 59: 1164-1166.

Crutchfield, S.R., Buzby, I.C., Roberts, T., Ollinger, M., Jordan Lin, C.T. 1997. An economic assessment of food safety regulations: the new approach to meat and poultry inspection. Economic Research Service. U.S.D.A. Jan-Apr. 1997. <http://www.econ.ag.gov/epubs/pdf/foodrevw/jan97>.

Devriese, L.A., Laurier, L., De Herdt, P. and Haesebrouck, F. 1992. Enterococcal and streptococcal species isolated from faeces of calves, young cattle and dairy cows. *J. Appl. Bacteriol.* 72: 29-31.

Dow Jones/Reuters. 1997. U.S. House/FDA Overhaul: Beef irradiation provisions. In FSNET October 7, 1997. Douglas Powell, Dept Food Science, University of Guelph, Guelph, Ont. NIG 2W1.

Eklund, M.W. 1982. Significance of *Clostridium botulinum* in fishery products preserved short of sterilization. *Fd. Technol.* 36: 107-115.

El-Shenawy, M.A., Yousef, A.E. and Marth, E.H. 1989. Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* in broth or in raw ground beef. *Lebensm.-Wiss. & Technol.* 22: 387-390.

El-Zawahry, A. Y. and Rowley, D .B . 1979. Radiation resistance and injury of *Yersinia enterocolitica*. *Appl. Environ. Microbiol.* 37: 50-54.

Enfors, S.-O., Molin, G. and Ternstrom, A. 1979. Effect of packaging under carbon dioxide, nitrogen or air on the microbial flora of pork stored at 4°C. *J. Appl. Bacteriol.* 47: 197-208.

Farber, J.M. and Peterkin, P.I. 1991. *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. *Microbiol. Rev.* 55: 476-511.

Farkas, I. 1989. Microbiological safety of irradiated foods. *Int. J. Food Microbiol.* 9: 1-15.

Federal Register, (Vol. 62, No. 232, p.64107), December 3, 1997.

Fu, A., Sebranek, I.G. and Murano, E.A. 1995a. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. *J. Food. Sci.* 60: 972-977.

- Fu, A., Sebranek, I.G. and Murano, E.A. 1995b. Survival of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* and quality attributes of cooked pork chops and cured ham after irradiation. *J. Food. Sci.* 60: 1001-1005.
- Gasser, F. 1994. Safety of lactic acid bacteria and their occurrence in human clinical infections. *Bull. Inst. Pasteur.* 92: 45-67.
- Grant, I.R. and Patterson, M.F. 1991. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperatures. *Int. J. Food Sci. Technol.* 26: 507-519.
- Grant, I.R., Nixon, C.R. and Patterson, M.F. 1993. Effect of low-dose irradiation on growth of and toxin production by *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in roast beef and gravy. *Int. J. Food Microbiol.* 18: 25-36.
- Greenberg, R.A., Tompkin, R.B., Bladel, B.O., Kittaka, R.S. and Anellis, A. 1966. Incidence of mesophilic *Clostridium* spores. in raw pork, beef and chicken in processing plants in the United States and Canada. *Appl. Microbiol.* 15: 789- 793.
- Greer, G.G., Gill, C.O. and Dilts, B.D. 1994. Evaluation of the bacteriological consequences of the temperature regimes experienced by fresh chilled meat during retail display. *Food Res. Int.* 27: 371-377.
- Hanna, M.O., Zink, D.L., Carpenter, Z.L., and Vanderzant, C. 1976. *Yersinia enterocolitica*-like organisms from vacuum-packaged beef and lamb. *J. Food Sci.* 41: 1254-1256.
- Hastings, I.W., Holzapfel, W.H. and Niemand, J.G. 1986. Radiation resistance of *Lactobacilli* isolated from radurized meat relative to growth and environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 52: 898-901.
- Hauschild, A.H.W. 1989. *Clostridium botulinum*, pp. 111-189 In M.P. Doyle (ed.) *Foodborne Bacterial Pathogens*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hauschild, A.H.W., Poste, L.M. and Hilsheimer, R. 1985. Toxin production by *Clostridium botulinum* and organoleptic changes in vacuum-packaged raw beef. *J. Food Prot.* 48: 712- 716.
- Ibrahim, A and MacRae, I.C. 1991. Isolation of: *enterocolitica* and related species from red meat and milk. *J. Food Sci.* 56: 1524-1526.
- IFT Daily News. 1997. Food Irradiation 'Sky's the Limit'. In FSNET October 7, 1997. Douglas Powell, Dept Food Science, University of Guelph, Guelph, Ont. NIG 2W1.
- Johnson, J.L., Doyle, M.P. and Cassens, R.G. 1989. *Listeria monocytogenes* and other *Listeria* spp. in meat and meat products: A review. *J. Food Prot.* 53: 81-91.
- Klarman, D., 1989. *Clostridium botulinum* in faecal samples of cattle and swine and samples of raw material and pulverized dehydrated meat of different rendering plants. *Berl. Munch. Tierarztl. Wschr.* 102: 84. Cited in "*Clostridium botulinum*: Ecology and Control in Foods ( ed. A.H.W .Hauschild and K. Dodds). 1993. p.58. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Konuma, H., Shinagawa, K., Tokumaru, M., Onoue, Y., Konno, S., Fujino, N., Shigehisa, T., Kurata, H., Kuwabara, Y and Lopes, C.A.M. 1988. Occurrence of *Bacillus cereus* in meat products, raw meat and meat product additives. *J. Food Protect.* 51: 324-326.
- Lagunas-Solar, M.C. 1995. Radiation processing of foods: an overview of scientific principles and current status. *J. Food Prot.* 58 (2): 186-192.

- Lambert, J.B. and Maxcy, R.B. 1984. Effect of gamma radiation on *Campylobacter jejuni*. J. Food Sci. 49: 665-667, 674.
- Lambert, A.D., Smith, J.P. and Dodds, K.L. 1991a. Combined effect of modified atmosphere packaging and low-dose irradiation on toxin production by *Clostridium botulinum* in fresh pork. J. Food Prot. 54: 94-101.
- Lambert, A.D., Smith, J.P. and Dodds, K.L. 1991b. Effect of headspace, CO<sub>2</sub> concentration on toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP, irradiated fresh pork. J. Food Prot. 54: 588-592.
- Lambert, A. D. Smith, J. P. and Dodds, K. L., 1991. Effect of initial O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> and low dose irradiation of toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP fresh pork, J. Food Prot. 54: 939-944.
- Lambert, A.D., Smith, J.P., Dodds, K.L. and Charbonneau, R. 1991. Microbiological changes and shelf life of MAP irradiated fresh pork, Food Microbiol., 9: 231-244.
- Lauer, B.H. 1993. A historical perspective on the development of current control mechanisms and preclearance procedures governing the sale of irradiated foods in Canada. Environmental Health Review 37(2) :32-35, 47-48.
- Lebepe, S., Molins, R.A, Charoen, S..P., Farrar, H.I.V. and Skowronski, R.P. 1990. Changes in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy. J. Food Sci. 55: 918-924.
- Lefebvre, N., Thibault, C. and Charbonneau, R 1992. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation. 1. Microbial aspects. Meat Science 32: 203-213.
- Lescano, G., Narvaiz, P., Kairiyama, E. and Kaupert, N. 1991. Effect of chicken breast irradiation on microbiological, chemical and organoleptic quality. Lebensm.-Wiss & Technol. 24: 130-134.
- Lostly, T., Roth, J.S. and Shults, G. 1973. Effect of irradiation and heating on proteolytic activity of meat samples. J. Agr. Food Chem. 21: 275-277.
- Lucke, F.-K, and Roberts, T.A. Control in Meat and Meat Products. In *Clostridium botulinum* Ecology and Controls in Foods (ed A.H.W Hauschild, and K.L. Dodds), 1993.
- Ma, K and Maxcy, RB. 1981. Factors influencing radiation resistance of vegetative bacteria and spores associated with radappertization of meat. J. Food Sci. 46: 612-616.
- Mano, S.B., Garcia de Fernando, G.D., Lopez-Galvez, D., Slegas, M.D., Garcia, M.L., Cambero, M.I. and Ordonez, I.A. 1995. Growth/survival of natural flora and *Listeria monocytogenes* on refrigerated uncooked pork and turkey packaged under modified atmospheres. J. Food Safety 15: 305-319.
- Marcotte, Michelle. 1994. Commercial Food Irradiation, Market Tests and Consumer Attitude Research -Summary Tables. Discussion document for the United Nations Environment Programme. Methyl Bromide Technical Options Committee.
- Mattila-Sandholm, T. and Skytta, E. 1991. The effect of spoilage flora on the growth of food pathogens in minced meat stored at chilled temperature. Lebensm-Wiss & Technol. 24: 116-120.
- McMullen, L.M. and Stiles, M.E. 1996. Potential for use of bacteriocin-producing lactic acid bacteria in the preservation of meats. J. Food.Prot. Suppl. 64: 73.

- Meischen, H. W. .1987. Branded Beef- Product of tomorrow, today. Reciprocal Meat Conference 40: 37-45.
- Mitchler, C. 1997. personal communication regarding CAC Policy and Positions on Food. Consumers Association of Canada. November 1991: 6.
- Monk, I.D., Rocelle, M.A., Clavero, S., Beuchat, L.R, Doyle, M.P. and Brackett, R.E.. 1994. Irradiation inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in low- and high-fat, frozen and refrigerated ground beef. *J. Food Prot.* 57: 969-974.
- Monk, I.D., Beuchat, L.R. and Doyle, M.P. 1995. Irradiation inactivation of food-borne micro-organisms. *J. Food Prot.* 58(2): 197-208.
- Mossel, D.A.A. 1977. The elimination of enteric bacterial pathogens from food and feed of animal origin by gamma irradiation with particular reference to *Salmonella radicidation*. *J. Food Quality* 1: 85-104.
- Murray, B.E. 1990. The Life and Times of the Enterococcus. *Clin. Microbiol. Rev.* 3: 46-65.
- Morganthau, T. 1997. E. coli alert. *Newsweek* September 1 1997.
- Morrison, R M., Buzby, J.C. and Jordan Lin, C.T. 1997. Irradiating ground beef to enhance food safety. *Food Review Newsletter of the Economic Research Service. U.S.D.A.* Jan-Apr. 1997. <http://www.econ.ag.gov/epubs/pdf/foodrevw/jan97>.
- Naik, G.N., Pushpa, P., Chawla, S.P., Sherikar, A.T. and Nair, P.M. 1993. Improvement of microbiological quality and shelf-life of buffalo meat at ambient temperature by gamma irradiation. *J. Food Safety.* 13: 177-183.
- Niemand, I.G., Van der Linde, H.I. and Hozapfel, W.H. 1981. Radurization of prime beef cuts. *J. Food Prot.* 44: 677-681.
- Niemand, I.G., Van der Linde, H.I. and Hozapfel, W.H. 1983. Shelflife extension of minced beef through combined treatments involving radurization. *J. Food Prot.* 46: 791-796.
- Palumbo, S.A., Maxino, F., Williams, A. W., Buchanan, R.L. and Thayer, D.W. 1985, Starch ampicillin agar for the quantitative detection of *Aeromonas hydrophila*. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 1027-1030.
- Palumbo, S.A., Jenkins, R.K., Buchanan, R.L. and Thayer, D.W. 1986. Determination of irradiation D-values for *Aeromonas hydrophila*. *J. Food Prot.* 49: 189-191.
- Patterson, M. 1988. Sensitivity of bacteria to irradiation on poultry meat under various atmospheres. *Lett. Appl. Microbiol.* 7: 55-58.
- Pszczola, D.E. 1997. 20 ways to market the concept of food irradiation. 1997. *Food Technology* 51: 46-48.
- Pszczola, D.E. 1993. Irradiated poultry makes US debut in Midwest and Florida markets. *Food Technol.* 47(11): 89,92, 94, 96.
- Radomyski, T., Murano, E.A., Olson, D.G. and Murano, P.S. 1994. Elimination of pathogens of significance in food by low-dose irradiation: a review. *J. Food Prot.* 57: 73-86.
- Resureccion, A. V.A., Galvez, F.C.F., Fletcher, S.M. and Misra, S.K. 1995. Consumer attitudes

- toward irradiated food: Results of a new study. *J. Food Prot.* 58(2): 193-196.
- Robeck, M.R 1996. Product liability issues raised by the growth in the irradiated food market. *Proc. Food Irradiation...It Works, Its Safe and Its Time.* June 3-4, 1996. Institute of Food Science and Engineering. Texas A & M University.
- Schiemann, D.A. 1989. *Yersinia enterocolitica* and *Yersinia pseudotuberculosis* pp. 601-672. In M.P. Doyle (ed.), *Foodborne Bacterial Pathogens.* Marcel Dekker, Inc. New York.
- Singh, H. 1997. Isolation and identification of *Aeromonas* spp. for ground meats in Eastern Canada. *J. Food Prot.* 60: 125-130.
- Soulsby, E.J.L. 1974. *Parasitic Zoonoses: Clinical and Experimental Studies.* Academic Press Inc., New York, N.Y.
- Stecchini, M.L., Sarais, I., Deltorre, M. and Fuochi, P.G. 1995. Effect of electron irradiation and packaging atmosphere on the survival of *Aeromonas hydrophila* in minced poultry meat. *Radiation Physics and Chemistry* 46: 779-784.
- Stern, N.I., Hernandez, M.P., Blankenship, L., Deibel, K.E., Doores, S., Soyle, M.F., Ng, H., Pierson, M.D., Sofos, I.N., Sveum, W.H. and Westhoff, D.C. 1985. Prevalence and distribution of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in retail meats. *J. Food Prot.* 48: 595-599.
- Sullivan, R, Scarpino, P.V., Fassolitis, A.C., Larkin, E.P. and Peeler, J. 1973. Gamma radiation inactivation of coxsackie virus B-2. *Appl. Microbiol.* 26: 14-17.
- Tarkowski, I.A., Stoffer, S.C.C., Beumer, R.R and Kampelmacher, E.H. 1984a. Low dose gamma irradiation of raw meat. I. Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. *Int. J. Food Microbiol* 1: 13-23.
- Tarkowski, I.A., Beumer, RR and Kampelmacher, E.H. 1984b. Low dose gamma irradiation of raw meat. II. Bacteriological effects on samples from butchereries. *Int. J. Food Microbiol.* 1: 25-31.
- Tauxe, R V. 1991. *Salmonella: a postmodern pathogen.* *J. Food Prot.* 54: 563-568.
- Thayer, D. W. 1993. Extending the shelf-life of poultry and red meat by irradiation processing. *J. Food Prot.* 56: 831-846.
- Thayer, D.W., G. Boyd, J.B. Fox Jr., L. Lakritz, and J.W. Hampson. 1995a. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J Food Safety* 60: 63-67.
- Thayer, D.W. 1995b. Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry. *J. Food Safety* 15: 181-192
- Thayer, D.W. and B. Boyd. 1993. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 1030-1034.
- Thayer, D. W. and Boyd, G. 1996. Inactivation of *Shewanella putrefaciens* by gamma irradiation of red meat and poultry. *J. Food Safety* 16: 151-160.
- Thayer, S. W., Josephson, E.S., Brynjolfsson, A., Giddings, G.G. 1996. Radiation pasteurization of food. Council for Agricultural Science and Technology (CAST) Issue Paper 7. Ames, Iowa.
- Todd. E.C.D. 1992. Foodborne disease in Canada: a 10-year summary from 1975 to 1984. *J. Food Prot.*

55(2): 123-132.

Todd, E.C.D. 1989. Preliminary estimates of costs of foodborne disease in Canada and the costs to reduce salmonellosis. *J. Food. Prot.* 52(8): 595-601.

Todd, E.C.D. 1987. Legal liability and its economic impact on the food industry. *J. Food Prot.* 50(12): 1048-1057.

Todd, E.C.D. 1985a. Economic loss from foodborne disease outbreaks associated with foodservice establishments. *J. Food Protection* 48: 169-180.

Todd, E.C.D. 1985b. Economic loss from foodborne disease and non-illness related recalls because of mishandling by food processors. *J. Food. Prot.* 48(7): 621-633.

Tongpim, S., Beumer, RR and Kampelmacher, E.I. 1984. Comparison of modified Rappaport's medium (RV) and Muller-Kauffmann F medium (MK-ISO) for the detection of Salmonella in meat products. *Int. J. Food Microbiol* 1: 33-42.

Tsuji K. 1983. Low dose cobalt 60 irradiation for reduction of microbial contamination in raw materials for animal health products. *Food Technol.* 37(2): 48-54.

Van Garde, S.I. and Woodburn, M.I. 1987. Food discard practices of householders. *Am. Diet. Assoc. J.* 87: 322-329.

Wegener, H.C., Madsen, M, Nielsen, N. and Aarestrup, F.M. 1997. Isolation of vancomycin resistant *Enterococcus faecium* from food. *Int. J. Food Microbiol.* 35: 57-66.

Wolin, E.F., Evans, I.B. and Niven, C.F. Jr. 1957. The microbiology of fresh and irradiated beef *Food Res.* 22: 682-686.



## ANNEXE II

### Études examinées dans l'évaluation des caractéristiques physiques et chimiques

Bowes, J.H. and Moss, J.A. 1962. The effect of gamma radiation on collagen. *Rad. Res.*, 16: 211

Davies, K.J.A., Delsignoret, M.E., Lin, S.W. 1987. Protein degradation by oxygen radicals. 3. Modification of secondary and tertiary structure. *J. Biol. Chem.*, 262: 9902.

Davies, K.J.A., Delsignoret, M.E. Lin, S.W. 1987. Protein degradation by oxygen radicals. *J. Biol. Chem.*, 262: 9895.

Delincée, H. 1983. Recent advances in radiation chemistry of proteins. In *Recent Advances in Food Irradiation*. P.S. Elias and A.J. Cohen (eds.). Elsevier Biomedical, Netherlands, p.129.

Dillon, J.C., Joyeux, J., Levillain, M., Brechet, V. 1986. *Cahier de nutrition et de diététique*, 21: 461.

Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB). Life Sciences Research Office. Select Committee on Health Aspects of Irradiated Beef, Herman J. Chin, Chairman). August, 1977 and March, 1979. Evaluation of the Health Aspects of Radiolytic Compounds Found in Irradiated Beef. NTIS Order No. PB84-187087.

Groninger, H.S. and Tappel, A.L. 1956. The destruction of thiamine in meats and in aqueous solution by gamma radiation. *Food Research*, 21: 555.

Groninger, H.S., Tappel, A.L. and Krapp, F.W. 1956. Some chemical and organoleptic changes in gamma irradiated meats. *Food Research*, 21: 555.

Grootveld, M., Jain, R., Claxson, A.W.D., Naughton, S. and Blake, D.R. 1990. The detection of irradiated foodstuffs. *Trends in Fd. Sci. Technol.*, July 7-14.

Hampson, J.W., Fox, J.B., Lakirtz, L., and Thayer, D.W. 1966. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. *Meat Science*, 42: 271.

Hassan, I.M. and Shams El-Din, N.M. 1986. Effect of irradiation and cold storage on fatty acid composition of meat phospholipids. 11<sup>th</sup> International Congress for Statistics, Computer Science and Demographic Research. Cairo, Egypt., p.47.

IFT Daily News 1997 (Chapter I)

Karam, L.R. and Simic, M.G. 1990. Formation of ortho-tyrosine by radiation and organic solvents in chicken tissue. *J. Biol. Chem.*, 265: 11581.

Kilcast, D. 1994. Effect of irradiation on vitamins. *Fd. Chem.*, 49: 157.

Lakirtz, L., Fox, J.B., Hampson, J., Richardson, R., Kohout, K. and Thayer, D.W. 1995. Effect of gamma irradiation on levels of  $\alpha$ -tocopherol in red meats and turkey. *Meat Sci.*, 41: 261.

Lea, C.H.J., Macfarlane, J. and Parr, L.J. 1960. Treatment of meats with ionizing radiation. II. Radiation pasteurization of beef for chilled storage. *J. Sci. Food Agric.*, 11: 690.

Lefebvre, N., Thibault, C., Charbonneau, R. and Piette, J.P.G. 1994. Improvement of shelf life and wholesomeness of ground beef by irradiation. II. Chemical analysis and sensory evaluation. *Meat Sci.*, 36: 371-380.

- Ley, F.J., Bleb, J., Coates, M.E. and Patterson, J.S. 1969. Sterilization of animal diets using gamma radiation. *Lab Animals*, 3: 221.
- Love, J.D. and Pearson, A.M., 1971. Lipid oxidation in meat and meat products, a review. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 48: 547.
- Merritt, C. Jr., 1972. Qualitative and quantitative aspects of trace volatile components in irradiated foods and food substances. *Radiation Research Reviews*, 3: 353-368.
- Merritt, C. Jr. 1980. The analysis of radiolysis products in meats and meat substances. *Food Irr. Info.*, 10: 20-33.
- Merritt, C. Jr. 1984. Radiolysis compounds in chicken and bacon. Final Report. September 18, 1981 - September 20, 1982. EERC/ARS-83. NTIS Order No. PB84-187095.
- Merritt, C. Jr., Angelini, P. and Graham R. A. 1978. Effect of radiation parameters on the formation of radiolysis products in meat and meat substances, *J. Agri. Food Chem.*, 26(1): 29-35.
- Merritt, C. Jr., Angelini, P. And Nawar, W.W. 1978. Chemical analysis of radiolysis products relating to the wholesomeness of irradiated food. From: *Food Preservation by Irradiation*, Vol. II; IAEA, Vienna, 1978, pp. 97-112. IAEA Paper No. IAEA-SM-221/51.
- Millar, S.J. 1995. The effect of ionizing radiation on the appearance of meat. *Dissertation Abstracts International C-56*.
- Miller, E.C. and Miller, J.A. 1986. Carcinogens and mutants that may occur in foods. *Cancer* 58: 1795-1803.
- Morehouse, K.M., Kiesel, M. and Ku, Y. 1993. Identification of meat treated with ionizing radiation by capillary gas chromatographic determination of radiolytically produced hydrocarbons, *J. Agric. and Food Chem.*, 41: 758-763.
- Morehouse, K.M. and Ku, Y. 1993. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. *Radiat. Phys. Chem.*, 42: 359-362.
- Nawar, W, W, and Balboni, J. J. 1970. Detection of irradiation treatment in foods, *J. Assoc. Analyt. Chem.*, 53: 726.
- Nawar, W.W., Zhu, Z.R. and Yoo, Y.J. 1990. In "Food irradiation and the chemist." Eds. D.E. Johnston and M.H. Stevenson, Belfast, Northern Ireland.
- Nawrot, P.S., Vavasour, E.J. and Grant, D.L. 1999. Food irradiation, heat treatment, and related processing techniques: Safety evaluation. Chapter 18 in *International Food Safety Handbook*. Kees van der Heijden, Maged Younes, Lawrence Fishbein and Sanford Miller (Eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, Basel.
- Pryor, W.A. (Ed.) 1984. *Free radicals in biology*. Academic Press, London.
- Rhee, K.S., Anderson, L.M. and Sams, A.R. 1996. Lipid oxidation potential of beef, chicken and pork. *J. Food Sci.*, 61: 8-12.
- Schreiber, G.A., Schulzki, G., Spielberg, A., Helle, N., Bogl, K.W. 1994. Evaluation of a gas chromatographic method to identify irradiated chicken, pork and beef by detection of volatile hydrocarbons. *J. AOAC International* 77: 1202-1217.

Singh, H., Lacroix, M., Gagnon, M. 1991. Post-irradiation chemical analyses of poultry: a review., November, 1991.

Spiegelberg, A., Schulzki, G., Helle, N., Bogl, K. W. and Schreiber, G. A. 1994. Methods of routine control of irradiated food: optimization of a method for the detection of radiation- induced hydrocarbons and its application to various foods, *Radiat. Phys. Chem.*, 43: 433.

Stadtman, E.R. 1994. Oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins by radiolysis and by mtasl-catalyzed reactions. *Ann. Rev. Biochem.*, 62: 797.

Taub, I.A. 1983. Reaction mechanisms, irradiation parameters, and product formation. In *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. Eds. E.S. Josephson and M.S. Peterson. CRC Press, Incorporated.

Taub, I.A., Angelini, P. and Merritt, C. 1976. Irradiated food: validity of extrapolating wholesomeness data. *J. Food Sci.*, 41: 942-944.

Taub, I.A., Kaprielian, R.A. and Halliday, J.W. 1978. Radiation chemistry of high protein foods irradiated at low temperature. From: *Food Preservation by Irradiation*, Vol. I; IAEA, Vienna, 1978, pp. 371-384. IAEA Paper No. IAEA-SM-221/59.

Taub, I.A., Kaprielian, R.A., Halliday, J.W., Walker, J.E., Angelini, P., Merritt, C. 1979. Factors affecting radiolytic effects in food. *Radiat. Phys. Chem.*, 14: 639.

Thomas, M.H. 1988. Use of ionizing radiation to preserve a food. In *Nutritional Evaluation of Food Processing (3<sup>rd</sup> Edition)*. Endel Karmas and Robert S. Harris (Eds.). AVI Publications.

WHO 1977. Wholesomeness of irradiated foods. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series No. 604. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO 1981. Wholesomeness of irradiated foods. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series No. 659. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO 1997. Food Irradiation. Press Release WHO/68. 19 September 1997.

Wierbicki, E. 1980. Technology of irradiation preserved meats. 26<sup>th</sup> Eur. Meeting Meat Res. Wkrs 31 August - 5 September, p.194.

### ANNEXE III

#### Études sur la nutrition examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié

1. American Council on Science and Health, Irradiated Foods, 2<sup>nd</sup> Edition, July 1985.
2. Basson, R.A., Advances in Radiation Chemistry of Food and Food Components - An Overview, in Recent Advances in Food Irradiation, Elias, P.S. and Cohen, A.J. (Eds), Elsevier Biomedical, 1983.
3. Council for Agricultural Science and Technology, Report #109, Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control, I. Wholesomeness of Food Treated with Ionizing Energy, 1986.
4. Codex Alimentarius Commission, (Vol. 4), "General Principles for the Addition of Essential Nutrients to Foods", CAC/GL 09-1987 (1994).
5. Diehl, J.F., Effects of combination processes on the nutritive value of food, in Combination Processes in Food Irradiation, IAEA Symposium Proceedings, IAEA, Vienna, 1981, p. 349-366.
6. Diehl, J.F., International Status of Food Irradiation, Food Technology in Australia, 36(8): 356, p. 358-366, 1984.
7. Diehl, J.F., Safety of Irradiated Foods, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., p. 273, 1995.
8. de Groot, A.P., van der Mijl Dekker, Slump, P., Vos, H.J., and Willems, J.J.L., Composition and Nutritive Value of Radiation-Pasteurized Chicken, Report # R3787, Central Institute for Nutrition and Food Research, The Netherlands, 1972.
9. Délincée, H., Recent advances in radiation chemistry of proteins, in Recent Advances in Food Irradiation, ed. P.S. Elias and A.J. Cohen, Elsevier Biomedical Press, 1983.
10. FAO/IAEA/WHO (Food and Agriculture Organisation/International Atomic Energy Agency/World Health Organisation) Joint Expert Committee, Wholesomeness of Irradiated Foods, WHO Technical Report Series #659, 1981.
11. Fox, J.B., jr., Lakritz, L., Thayer, D.W., Effect of reductant level in skeletal muscle and liver on the rate of loss of thiamin due to gamma-radiation, Int. J. Radiat. Biol., 64(3), p. 305-309, 1993.
12. Fox, J.B., Jr., Thayer, D.W., Jenkins, R.K., Phillips, J.G., Ackerman, S.A., Beecher, E.R., Holden, J.M., Morrows, F.D., and Quirbach, D.M., Effect of Gamma Irradiation on the B Vitamins of Pork Chops and Chicken Breasts, Int. J. Radiat. Biol., 55(4), p. 689-703, 1989.
13. Fox, J.B., Jr., L. Lakritz, J. Hampson, R. Richardson, K. Ward, and D.W. Thayer, Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork, and turkey, J. Food Science, 60 (3):596-598, 603, 1995.
14. Gallien, Cl. L., Paqjun, J., Ferradini, C. and Sadat, T., Electron Beam Processing in Food Industry - Technology and Costs, Radiat. Phys. Chem., 25(1-3), p.81-96, 1985.
15. Gruiz, K. and Kiss, I., Effect of Ionizing Radiation on the Lipids in Frozen Poultry, I. Fatty Acids and Hydrocarbons, Acta Alimentaria, 16(2), p.111-127, 1987.
16. Hampson, J.W., Fox, J.B., Lakrtiz, L., and Thayer, D.W., Effect of Low Dose Gamma Radiation

- on Lipids in Five Different Meats, *Meat Science*, 42 (3), p.271-276, 1996.
17. Hanis, T., Jelen, P., Klir, P., Mnukova, J., Perez, B. and Pesek, M., Poultry Meat Irradiation - Effect of Temperature on Chemical Changes and Inactivation of Microorganisms, *J. Food Protection*, 52(1), p.26-29, 1989.
  18. Health Canada, Canadian Nutrient File, 1997.
  19. Ibrahim, S., El-Said, F., and Ahmed, A.K., Gamma irradiation of fats and fatty oils. Part II. Effect of gamma radiation on the fatty peroxy compounds and on the stability of fats, *Bull. Fac. Pharm., Cairo Univ.* 7, p. 11-25, 1968.
  20. Josephson, E.S., Thomas, N.H. and Calhoun, W.K., Nutritional aspects of food irradiation: An overview, *J. Food Proc. Pres.* 2, p.299-313, 1978.
  21. Kanatt, S.R., Paul, P., D'Souza, S.F., and Thomas, P., Effect of Gamma Irradiation on the Lipid Peroxidation in Chicken, Lamb and Buffalo Meat During Chilled Storage, *J. Food Safety*, 17, p.283-294, 1997.
  22. Katta, S.R., Rao, D.R., Sunki, G.R., and Chawan, C.B., Effect of Gamma Irradiation of Whole Chicken Carcasses on Bacterial Loads and Fatty Acids, *J. Food Sci.*, 56(2), p.371-372, 1991.
  23. Kraybill, H.F., Effect of processing on nutritive value of food: Irradiation, in Handbook of Nutritive Value of Processed Food, Vol. I, M. Rechcigl Jr., (ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, 1982, p. 181-208.
  24. Lorenz, Klaus, Irradiation of cereal grains and cereal grain products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 6 (4), p. 317-382, 1975.
  25. Mast, M.G. and Clouser, C.S., The Effect of Further Processing on the Nutritive Value of Poultry Products, *World Poultry Science Association, 7th European Symposium on Meat Quality*, p.219-234, 1985.
  26. Maxwell, R.J., and Rady, A.H., Effect of Gamma Irradiation at Various Temperatures on Air and Vacuum Packed Chicken Tissues II. Fatty Acid Profiles of Neutral and Polar Lipids Separated from Muscle and Skin Irradiated at 2-5°C, *Radiat. Phys. Chem.*, 34 (5), p.791-796, 1989.
  27. Meister, K.A., *Irradiated Foods*, American Council on Science and Health, 1985.
  28. Mills, S., *Issues in Food Irradiation*, Discussion Paper, Science Council of Canada, 1987.
  29. Murray, T.K., Nutritional aspects of food irradiation, in Recent Advances in Food Irradiation, Elias, P.J. and A.J. Cohen, eds., Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, p. 203-216, 1983.
  30. Nawar, W.W., Radiolysis of Non-Aqueous Components of Foods, in *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vol. II, Josephson, E.S. and Peterson, M.S. (eds), CRC Press, 1983.
  31. Nova Scotia Heart Health Program, Report of the Nova Scotia Nutrition Survey, 1993.
  32. Rady, A.H., Maxwell, R.J. Wierbecki, E., and Phillips, J.G., Effect of Gamma Irradiation at Various Temperatures and Packaging Conditions on Chicken Tissues I. Fatty Acid Profiles of Neutral and Polar Lipids Separated from Muscle Irradiated at -20°C, *Radiat. Phys. Chem.*, 31 (1-3), p.195-202, 1988.

33. Sadat, T. and Vassenaix, M., Use of a Linear Accelerator for Decontamination of Deboned Poultry Meat, *Radiat. Phys. Chem.*, 36(5), p.661-665, 1990.
34. Santé Québec, Rapport de l'Enquête québécoise sur la nutrition, 1990, Gouvernement du Québec, 1995.
35. Shamsuzzaman, K., Chuaqui-Offermanns, N., Lucht, L., McDougall, T. and Borsa, J., Microbiological and Other Characteristics of Chicken Breast Meat Following Electron-Beam and Sous-Vide Treatments, *J. Food Protection*, 55(7), p. 528-533, 1992.
36. Skala, J.H., McGown, E.L. and Waring, P.P., Wholesomeness of Irradiated Foods, *J. Food Protection*, p.150-160, 1987.
37. Thomas, M.H. and Josephson, E.S., Radiation preservation of foods and its effects on nutrients, *Sci. Teacher* 37, p. 59-63, 1970.
38. U.K. Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, Report on the safety and wholesomeness of irradiated foods, Department of Health and Social Security, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, U.K., 1984.
39. U.S. Federal Register, 55(85), Rules and Regulations, p. 18538-18544, 1990.
40. Urbain, W.M., Radiation Chemistry of Proteins, Chapter 4 in Radiation Chemistry of Major Food Components, ed. P.S. Elias and A.J. Cohen, Elsevier, New York, 1977.
41. Wood, B.F., A research project to demonstrate the efficacy of controlling microorganisms in poultry and poultry products by gamma irradiation - part of the Processing, Distribution, and Retailing (PDR) program. Food Research Institute, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, 1986.
42. World Health Organization, Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food, p.139, 1994.

## ANNEXE IV

### Études toxicologiques examinées dans l'évaluation de la sécurité du boeuf irradié

- Addis, P.B. and Park, P.S.W., Cholesterol oxide content of foods, *Biological Effects of Cholesterol Oxides*. CRC Press, 1992.
- AIC/CIFST Joint statement of food irradiation, *J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment.*, 22(3), p.190-196, 1989.
- Bischoff, F., Carcinogenic effects of steroids. *Adv. Lipid Res.*, 7, p.165-244, 1969.
- Bull, A.W., Nigro, N.D., Golembieski, W.A., Crissman, J.D. and Marnett, L.J., In vivo stimulation of DNA synthesis and induction of ornithine decarboxylase in rat colon by fatty acid hydroperoxides, autooxidation products of unsaturated fatty acids. *Cancer Res.*, 44, p.4924-4928, 1984.
- Engeseth, N.J. and Gray, J.I. Cholesterol oxidation in muscle tissue. *Meat Science*, 36, p.309-320, 1994.
- Gray, M.F., Lawrie, T.D.V. and Brooks, C.J.W. Isolation and identification of cholesterol  $\alpha$ -oxide and other minor sterols in human serum. *Lipids*, 6, p.836-843, 1971.
- Hampson, J.W., Fox, J.B., Lakritz, L., and Thayer, D.W., Effect of Low Dose Gamma Radiation on Lipids in Five Different Meats, *Meat Science*, 42(3), p. 271-276, 1996.
- Hwang, K.T. and Maeker, G. Quantitation of Cholesterol Oxidation Products in Unirradiated and Irradiated Meats. *J. Amer. Oil Chem Soc.*, 70(4), p.371-375, 1993.
- Jacobson, M.S. Cholesterol oxides in Indian ghee: possible cause of unexplained high risk of atherosclerosis in Indian immigrant populations. *Lancet*, 8560, p.656-658, 1987.
- Johnson, L.P., Williams, S.R., Neel, S.W., Reagan, J.O. Foodservice industry market profile study: Nutritional and objective textural profile of foodservice ground beef. *J. Animal Sci.*, 72, p.1487-1491, 1994.
- Kanazawa, K., Kanazawa, E. and Natake, M., Uptake of secondary autooxidation products of linoleic acid by the rat. *Lipids*, 20(7), p.412-419, 1985.
- Kanazawa, K., Ashida, H., Minamoto, S. and Natake, M., The effect of orally administered secondary autooxidation products of linoleic acid on the activity of detoxifying enzymes in the rat liver. *Biochim. Biophys. Acta*, 879, p.36-43, 1986.
- Kilcast, D., Effect of irradiation on vitamins. *Food Chem.*, 49, p.157-164, 1994.
- Lakritz, L. et al., Effect of gamma radiation on levels of alpha-tocopherol in red meats and turkey. *Meat Science*, 41(3), p.261-271, 1995.
- Lipkin, M., Reddy, B.S., Weisburger, J. and Schechter, L. Nondegradation of fecal cholesterol in subjects at high risk for cancer of the large intestine. *J. Clin. Invest.*, 67(1), p.304-307, 1981.
- van Logten, M.J., deVries, T., van der Heijden, C.A., van Leeuwen, F.X.R., Garbis-Berkvens, M.J.M. AND Strick, J.J.T.W.A. Long-term wholesomeness study of autoclaved or irradiated pork in rats. National Institute of Public Health Report No. 617401001, The Netherlands, 1983.
- MacGregor, J.T., Wilson, R.E., Neff, W.E. and Frankel, E.N., Mutagenicity tests of lipid oxidation products

in *Salmonella typhimurium*: monohydroperoxides and secondary oxidation products of methyl linoleate and methyl linolenate. *Fd. Chem. Tox.*, 23(12), p.1041-1047, 1985.

McCay, C.M. and Rumsey, G.L., Effect of irradiated meat upon growth and reproduction in dogs. *Fed. Proc.*, 19, p.1027-1030, 1960.

Maeker, G. and Jones, K.C., Gamma-irradiation of individual cholesterol oxidation products. *J. Amer. Oil Chem Soc.*, 69(5), p.451-455, 1992.

Merritt Jr., C.M., Angelini, P. and Graham R. A. Effect of radiation parameters on the formation of radiolysis products in meat and meat substances. *J. Agri. Fd. Chem.*, 26(1), p.29-35, 1978.

Merritt Jr., C. and Taub, I.A., Commonality and predictability of radiolytic products in irradiated meats, in *Recent Advances in Food Irradiation*. p. 27-57, Elsevier Biomed. Press, 1983.

Merritt Jr., C., Vajdi, M. and Angelini, P. A Quantitative Comparison of the Yields of Radiolysis Products in Various Meats and their Relationship to Precursors. *J. Amer. Oil Chem Soc.*, 62(4), p.708-713, 1985.

Mittler, S., Failure of irradiated beef and ham to induce genetic aberrations in *Drosophila*. *Int. J. Radiat. Biol.*, 35, p.583-588, 1979.

Nakayama, T., Kaneko, M. and Kodama, M., Detection of DNA damage in cultured human fibroblasts induced by methyl linoleate hydroperoxide. *Agric. Biol. Chem.*, 50(1), p.261-2, 1986.

Nielsen, J.H., Olsen, C.E., Duedahl, C. and Skibsted, L.H. Isolation and quantification of cholesterol oxides in dairy products by selected ion monitoring mass spectrometry. *J. Dairy Res.*, 62, p.101-113, 1995.

Park S.W. and Addis, P.B. Identification and Quantitative Estimation of Oxidized Cholesterol Derivatives in Heated Tallow. *J. Agri. Fd. Chem.*, 34(4), p.653-659, 1986.

Park, S.W. and Addis, P.B., Cholesterol oxidation products in some muscle foods. *J. Food Sci.*, 52(6), p.1500-03, 1987.

Peng, S.-K. Cytotoxicity of cholesterol oxides, *Biological Effects of cholesterol oxides*. CRC Press, 1992.

Peng, S.K., Morin, R.J., Tham, P. and Taylor, C.B. Effects of oxygenated derivatives of cholesterol on cholesterol uptake by cultured aortic smooth muscle cells. *Artery*, 13, p.144-164, 1985.

Peterson, A.R., Peterson, H., Spears, C.P., Trosko, J.E. and Sevanian, A. Mutagenic characterization of cholesterol epoxides in Chinese hamster V79 cells. *Mut. Res.*, 203, p.355-366, 1988.

Petrakis, N.L., Gruenke, L.D. and Craig, J.D. Cholesterol and cholesterol epoxides in nipple aspirates of human breast fluid. *Cancer Res.*, 41, p.2563-2565, 1981.

Raaphorst, G.P., Azzam, E.I., Langlois, R. and Van Lier, J.E. Effect of cholesterol and epoxides on cell killing and alpha and beta transformation. *Biochem. Pharmacol.*, 36(14), p.2369-2372, 1987.

Radomski, J.L., Deichmann, W.B., Austin, B.S. and MacDonald, W.E. Chronic toxicity studies on irradiated beef stew and evaporated milk. *Toxicology and Applied Pharmacol.*, 7, p.113-121, 1965.

Rady, A.H., Maxwell, J., Wiebicki, E., Phillips, J.G. Effect of gamma irradiation at various temperatures and packaging conditions on chicken tissues. 1. Fatty acid profiles of neutral and polar lipids separated from muscle irradiated at -20°C. *Radiat. Phys. and Chem.*, 31(1-3), p.195-202, 1988.



Raica, Jr., N. and Howie, D.L., Review of the U.S. Army wholesomeness of irradiated food program. *Food Irradiation Proc. Symp.*, Karlsruhe, SM-73/5. IAEA, p.119-135, 1966.

Reddy, B.S. and Wynder, E.L. Metabolic epidemiology of colon cancer. *Cancer*, 39, p.2533-2539, 1977.

Reddy, B.S. and Watanabe, K. Effect of cholesterol metabolites and promoting effects of lithocholic acid in colon carcinogenesis in germ-free and conventional F344 rats. *Cancer Res.*, 39, p.1521-1524, 1979.

Renner, H.W., Graf, U., Wurgler, F.E., Altmann, H., Asquith, J.C. and Elias, P.S. An Investigation of the genetic toxicology of irradiated foodstuffs using short-term test systems. Part 3. *In vivo* in small rodents and in *Drosophila melanogaster*. *Food Chem. Toxicol.*, 20, p.867-878, 1982.

Sander, B.D., Addis, P.B., Park, S.W. and Smith, D.E. Quantification of Cholesterol Oxidation Products in a Variety of Foods. *J. Food Protection*, 52(2), p.109-114, 1989.

Schweigert, B.S., The nutritional content and value of meat and meat products. *The Science of Meat and Meat Products*, p. 275-305, Food and Nutrition Press, 1987.

Sevanian, A. and Peterson, A.R., Cholesterol epoxide is a direct acting mutagen. *Proc. National Academy Science*, 81, p.4198-4202, 1984.

Smith, L.L, Smart, V.B. and Ansari, G.A.S. Mutagenic cholesterol preparations. *Mut. Res.*, 68, p.23-30, 1979.

Sporer, A., Brill, D.R. and Schaffner, C.P. Epoxycholesterols in secretions and tissues of normal, benign and cancerous human prostate glands. *Urology*, 20(3), p.244-250, 1992.

Suzuki, K., Bruce, W.R., Baptista, J., Furrer, R., Vaughan, D.J. and Krepinsky, J.J. Characterization of cytotoxic steroids in human faeces and their putative role in the etiology of human colonic cancer, *Cancer Letters*, 33, p.307-316, 1986.

Taub, I.A., Robbins, F.M., Simic, M.G., Walker, J.E. and Wierbicki, E. *Food Tech.*, 33, p.184-193, 1979.

Taub, I.A., Angeline, P. and Merritt, C. Irradiated food: validity of extrapolating wholesomeness data. *J. Food Sci.*, 41, p.942-944, 1976.

Thayer, D.W., Shieh, J.J., Jenkins, R.K., Phillips, J.G., Wierbicki, E. and Ackerman, S.A. Effect of gamma ray radiation and frying on the thiamine content of bacon. *J. Food Quality*, 13, p.147-169, 1990.

Vaca, C.E., Wilhelm, J. and Harms-Ringdahl, M. Interaction of lipid peroxidation products with DNA: a review, *Mut. Res.*, 195, p.137-149, 1988.

World Health Organization (WHO), Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food. 1994.

Zubillaga, M.P. and Maeker, G. Quantitation of three cholesterol oxidation products in raw meat and chicken. *J. Food Sci.*, 56(5), p.11964-11997, 1991.

## ANNEXE V

### Protocole d'irradiation proposé pour l'irradiation du boeuf

#### 1.1 Remarques générales

Le traitement par irradiation du boeuf haché vise à empêcher le développement des pathogènes microbiens et cette méthode s'ajoute aux pratiques utilisées normalement dans la fabrication de produits où il est question de boeuf non irradié. Explicitement, le boeuf haché destiné à l'irradiation doit être produit dans des usines de transformation approuvées et inspectées, observant scrupuleusement tous les règlements particuliers qui s'appliquent au boeuf haché. L'objectif vise à mettre sur le marché un produit dont la qualité est supérieure sur le plan de l'analyse microbiologique et ce, avant de passer au traitement par irradiation.

Les avantages reliés à l'irradiation sont des plus réels pour les produits dont la qualité est bonne sur le plan de l'analyse microbiologique avant l'irradiation. Dans de tels cas, les réductions microbiennes effectuées par irradiation peuvent, avec de fortes possibilités, éliminer l'*Escherichia coli* O157:H7. Les avantages de l'irradiation peuvent être réduits de manière significative si la quantité de microorganismes-cibles avant l'irradiation est assez élevée pour exclure toute possibilité d'élimination ou une réduction importante de manière pratique. Il faut insister sur le fait que l'irradiation n'est pas utilisée comme substitut servant à remplacer les bonnes pratiques de fabrication.

Le véritable traitement par irradiation dans une usine de transformation donnée s'effectue en vertu d'un protocole d'irradiation détaillé qui spécifie toutes les Méthodes de fonctionnement normalisées (MFN) qui doivent être suivies afin de s'assurer que le processus s'effectue de manière efficace et en toute conformité aux exigences réglementaires. L'élaboration des MFN relève, inéluctablement, de l'usine où elles sont appliquées de même que du produit et ne peut être complétée sans les spécifications détaillées associées à une application particulière pour laquelle le produit est déterminé. Ce dont il faut principalement tenir compte pour l'élaboration d'un protocole d'irradiation est décrit dans un ensemble de directives.

#### 1.2 Les points dont il faut tenir compte concernant les directives

Ces directives proviennent du "Guide courant pour l'irradiation des viandes rouges fraîches et congelées et de la volaille (pour contrôler les pathogènes)".<sup>65</sup>

##### 1.2.1 Avantages souhaités

Le but de la radiopasteurisation est de désinfecter la viande hachée fraîche refroidie ou congelée de l'organisme pathogène appelé *Escherichia coli* O157:H7 afin de rendre ces aliments plus sûrs à la consommation des humains. La désinfection par irradiation réduit considérablement le nombre de bactéries végétatives revivifiables appelées *Escherichia coli* O157:H7.

#### 1.3 Manipulation des produits avant l'irradiation

##### 1.3.1 Bonnes pratiques de fabrication (BPF)

Des directives pertinentes ayant trait aux BPF devraient être suivies en préservant la qualité initiale de la viande fraîche avant la mise en activité effective du traitement et durant les étapes précédant l'irradiation. Ces étapes comprennent l'abattage d'animaux en santé seulement, l'usage d'opérations de

---

<sup>65</sup>Anonymous. 1991. Standard Guide for the Irradiation of Fresh and Frozen Red Meats and Poultry (to Control Pathogens). ASTM F 1356-91.

mise au point aseptiques, une réduction rapide et efficace de la température du produit pouvant aller de -2°C à +4°C de même que des opérations de coupe, de parage, de désossage et de broyage contrôlées de manière adéquate. En général, des mesures appropriées devraient être prises en tout temps pour minimiser la contamination et la croissance microbiennes.

### **1.3.2 Gestion de la chaîne frigorifique avec viande gardée au frais**

Durant les étapes de transport et d'entreposage des viandes fraîches précédant l'irradiation, l'exigence principale, en plus de maintenir des conditions hygiéniques adéquates, consiste à conserver une température allant de -2°C à +4°C sans atteindre le point de congélation. De plus, il faut s'assurer que la période d'entreposage précédant l'irradiation soit aussi brève que possible.

### **1.3.3 Gestion de la chaîne frigorifique avec viande congelée**

Pour les viandes congelées, une température finale atteignant -18°C devrait être atteinte et maintenue en tout temps. Avec des produits congelés, il n'est pas particulièrement crucial d'écourter la période d'entreposage précédant l'irradiation. Néanmoins, cette période doit être minimisée puisque la qualité du produit se détériore quelque peu à l'état de congélation.

### **1.3.4. Manipulation optimale**

Une manipulation des viandes rouges autre que celle comprenant les procédures décrites ci-dessus, particulièrement si ces viandes sont réfrigérées pendant une trop longue période de temps, ne constitue pas de bonnes pratiques de fabrication. De telles conditions peuvent provoquer un développement de bactéries démesuré et des changements indésirables dans le produit. La radiopasteurisation ne peut pas inverser ces changements indésirables.

## **1.4 Emballage**

### **1.4.1 Préemballage**

Dans la plupart des cas, les viandes devraient être emballées avant l'irradiation afin d'éviter la recontamination.

### **1.4.2 Matériaux**

Généralement, en respectant les doses dont il est question dans cette application, les matériaux d'emballage d'usage courant sont satisfaisants de manière fonctionnelle. Ils protègent le produit de manière adéquate durant le traitement et la manipulation ultérieure. Au Canada, seuls les matériaux qui ont reçu une approbation sous forme de lettre de non-objection de Santé Canada devraient être utilisés. De tels matériaux devraient figurer dans la "Liste de référence pour les pièces de matériaux de construction, les matériaux d'emballage, et les produits chimiques non alimentaires acceptés" (en préparation) tenue à jour par l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Si l'irradiation change de manière significative les propriétés d'un matériau d'emballage pour le rendre fonctionnellement inadéquat, il faut alors éviter d'utiliser ce matériau.

#### **1.4.2.1 Perméabilité au gaz**

Il faut prendre soin de s'assurer que les exigences fonctionnelles reliées à la perméabilité au gaz des matériaux d'emballage soient entièrement prises en considération. La perméabilité à l'oxygène est très importante car elle est reliée à l'étude du *Clostridium botulinum*, tout comme les préférences du consommateur se rapportent à la couleur des viandes. Dans certains cas, il peut être souhaitable d'utiliser un système d'emballage double dont seule la couche interne est perméable à l'oxygène. Le fait de garder la couche externe intacte permettrait à l'irradiation de s'effectuer dans des conditions exemptes d'oxygène

( atmosphère modifiée ou vide). Le retrait de la couche externe, après l'irradiation, permettrait ensuite à l'oxygène de pénétrer le produit pendant la période d'entreposage ou à l'étalage. Encore une fois, il faut s'assurer que la conception finale de l'emballage est conforme aux exigences réglementaires de Santé Canada.

#### **1.4.2.2 Perméabilité à l'humidité**

En plus d'être perméable au gaz, le matériau d'emballage doit être un pare-humidité pour empêcher les viandes de sécher.

#### **1.4.3 Dimensions de l'emballage**

La taille et la forme permises des contenants utilisés pour les aliments destinés à l'irradiation sont déterminées en partie par certains critères de conception élaborés à l'usine d'irradiation. Les critères essentiels incluent les caractéristiques des systèmes de manutention et de la source d'énergie car elles sont relatives à la distribution des doses obtenue dans l'unité de production. Avec des équipements d'irradiation utilisant des électrons à haute énergie sous forme d'énergie ionisante pour le traitement, les restrictions reliées à la pénétration exigent que l'épaisseur des emballages soit prise en considération très sérieusement à l'étape de conception de procédé. Il faut s'assurer avec soin que les emballages du produit sont compatibles avec les exigences opérationnelles générales des équipements d'irradiation. Cette démarche donne de meilleurs résultats en travaillant en collaboration étroite avec des spécialistes qui connaissent bien les exigences de l'équipement particulier et ce, durant le stade de l'étude portant sur l'irradiation de la viande.

##### **1.4.3.1 Uniformité**

Les emballages du produit doivent être géométriquement bien définis et uniformes.

#### **1.4.4 Emballage**

Pour les viandes congelées, l'emballage doit contenir le moins possible de vides et d'espaces ouverts. De tels espaces provoquent une forme de dessiccation appelée "brûlure par congélation."

### **1.5 Irradiation**

#### **1.5.1 Source**

Les sources d'énergie ionisante à utiliser pour le traitement du boeuf haché sont limitées aux rayons gamma de Cobalt-60 et césium-137, aux sources mécaniques d'électrons accélérés avec des énergies allant jusqu'à 10 MeV et des rayons X avec des énergies de 5 MeV maximum.

#### **1.5.2 Contrôle opérationnel**

Puisqu'il est généralement impossible de faire la différence entre les produits irradiés et les produits non-irradiés au moyen d'une inspection, une barrière matérielle est essentielle pour les garder séparés.

#### **1.5.3 Vérification de l'irradiation**

Les systèmes disponibles sur le marché, tels que les autocollants, qui subissent un changement de couleur ou certains autres détectés facilement et subissant un changement permanent lorsqu'ils sont exposés à des doses de radiopasteurisation, peuvent être utiles en tant que méthode rapide de vérification des emballages des produits qui sont irradiés.

#### **1.5.4 Tenue des registres**

Il est important que des registres adéquats concernant les opérations des équipements d'irradiation soient conservés pour effectuer la vérification du traitement par irradiation. Le numéro de lot ou toute autre ressource pertinente devrait identifier le boeuf haché irradié. Toutes les procédures relatives à la tenue des registres doivent être conformes aux exigences réglementaires.

#### **1.5.5 Paramètres reliés au traitement par irradiation**

##### ***1.5.5.1 Étalonnage et contrôle des doses***

La dose absorbée est le paramètre le plus important utilisé pour contrôler le traitement par irradiation. La gamme de doses administrée au produit particulier doit respecter les limites minimum et maximum spécifiées dans les règlements. Il est nécessaire de déterminer le rendement d'un irradiateur qui effectue le traitement selon ces limites avant de passer à l'irradiation du produit pour qu'il soit consommé. Une fois que ce rendement est établi, il est nécessaire de contrôler et d'enregistrer les véritables doses aux extrémités pour chaque lot de production.

##### **1.5.5.2 Les limites de dose des viandes fraîches par opposition aux viandes congelées**

Les produits congelés nécessitent généralement des doses absorbées plus élevées que celles pour les produits réfrigérés pour bénéficier des mêmes effets. Cette différence ressort dans les gammes de doses spécifiées dans les règlements pour les deux types de produits.

##### ***1.5.5.3 Les points dont il faut tenir compte concernant la température***

Il faut entreprendre des démarches pour s'assurer que l'élévation de température est minimale durant l'irradiation des produits réfrigérés. La température réelle de la viande fraîche refroidie ne doit pas dépasser 10°C durant l'irradiation. La température de la viande congelée doit être maintenue aussi basse que possible durant l'irradiation et ne doit pas dépasser -10°C. L'utilisation de conteneurs de transport isothermes peut s'avérer un moyen satisfaisant de contrôler ces températures ou la réfrigération de la chambre d'irradiation peut être utile.

#### ***1.6 Manipulation et entreposage des produits après l'irradiation***

##### **1.6.1 Bonnes pratiques de fabrication**

Les produits irradiés doivent être manipulés et entreposés de la même manière que les produits non-irradiés analogues. Il faut garder la température entre -2° C et +4°C en tout temps pour les produits frais refroidis. Pour les produits congelés, la température doit être maintenue à -18°C en tout temps.

##### **1.6.2 Qualités organoleptiques**

Il faut accorder une attention particulière à tous les aspects reliés à la détérioration du produit qui n'a pas rapport à la présence de microbes. Par exemple, les changements pigmentaires peuvent provoquer la décoloration du produit et l'oxydation lipide peut modifier la saveur. Si l'emballage sous vide ou le conditionnement sous atmosphère modifiée exempte d'oxygène est utilisé, il faudrait prendre un soin particulier à s'assurer que la température d'entreposage ne dépasse pas +4°C afin d'empêcher le produit de se détériorer et qu'un développement ultérieur de *Clostridium botulinum* ne se manifeste.