

LE TRAITEMENT IONISANT DES PRODUITS ALIMENTAIRES

L. Saint-Lèbe et J. Raffi

Département de Biologie
 Service de Radioagronomie

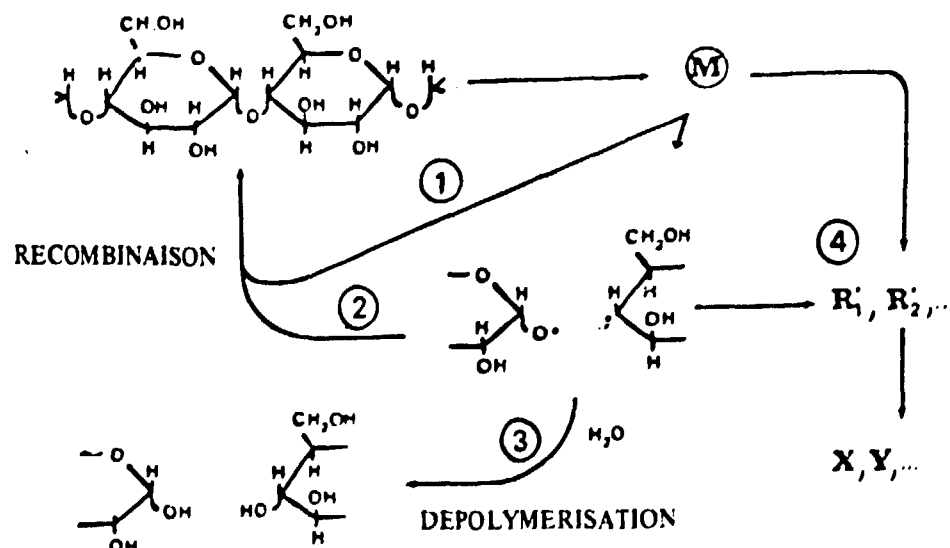
Les traitements ionisants permettent d'assainir les denrées et d'améliorer leur conservation avec une efficacité et une sécurité rarement atteintes par les procédés classiques. Ils sont particulièrement bien adaptés à l'assainissement bactérien des poudres alimentaires où ils se substituent à l'utilisation parfois devenue excessive d'additifs chimiques, et à la prolongation de la conservation à l'état frais des fruits et légumes et de certaines viandes et poissons. En France, le débouché de ce traitement au stade industriel est proche ; il est déjà réalisé dans certains pays du monde occidental.

I - MODE D'ACTION ET EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

1) Mode d'action des rayonnements ionisants

Les rayonnements utilisés (1) sont les électrons accélérés d'énergie inférieure à 10 MeV, les photons X d'énergie inférieure à 5 MeV et les photons gamma émis par le cobalt 60 (1,17 et 1,33 MeV) et le césium 137 (0,66 MeV). Ils conduisent tous à une ionisation en cascade du milieu traversé, à la formation de molécules excitées et, enfin, à celle de radicaux libres qui donnent les produits de radiolyse (figure 1).

Figure 1 : Schéma de radiolyse de l'amidon (3)



Les ions moléculaires et les radicaux libres ont un comportement différent selon la rigidité du milieu dans lequel ils sont formés. Dans un milieu à faible viscosité (solution aqueuse), il y a migration des entités primaires et l'action indirecte des produits de radiolyse de l'eau est prédominante. Dans un système rigide tel que l'amidon, les radicaux ont des durées de vie plus importantes mais sont de toute façon détruits dès qu'il y a réhydratation. Les réactions chimiques, liées à la rigidité du milieu, dépendent aussi de la température; lorsqu'elle baisse la formation des produits de radiolyse diminue (2, 3).

La quantité de produits de radiolyse formés est très faible comparée à celle que l'on aurait pu attendre : ainsi, à une dose de 10 kGy (soit 1 Mrad ou 10 kJ/kg ou 239 calories absorbées par kg), le degré de polymérisation d'une macromolécule d'amidon est divisé environ par deux et il se forme de l'ordre de 2,5 g de produits hydrosolubles par kg d'amidon; sur ces 2,5 g seuls 0,3 à 0,4 ne sont pas des oligomères du glucose.

Qualitativement, les traitements ionisants n'ont guère d'effet sur la valeur nutritive des aliments, du moins pas plus que les autres procédés de conservation (1). D'ailleurs le "spectre" des produits de radiolyse est identique voire moins large que celui des produits de thermolyse : en effet, comme le montre la figure 2, la thermolyse induit un processus réactionnel initialement bimoléculaire et entraîne en particulier la formation de produits X, Y, ... induits également lors d'un traitement ionisant; une conséquence directe de ce fait est que les traitements ionisants n'induisent aucun produit caractéristique, ce qui est à la fois un avantage sur le plan toxicologique et un inconvénient sur le plan de la réglementation.

2) Principaux effets des rayonnements ionisants

Si les conséquences physico-chimiques de l'ionisation sur les aliments peuvent être considérées comme mineures tant sur le plan qualitatif que quantitatif, il n'en est pas de même dans le cas des systèmes biologiques et des organismes vivants du fait des conséquences graves qui découlent des altérations de molécules telles que les acides nucléiques.

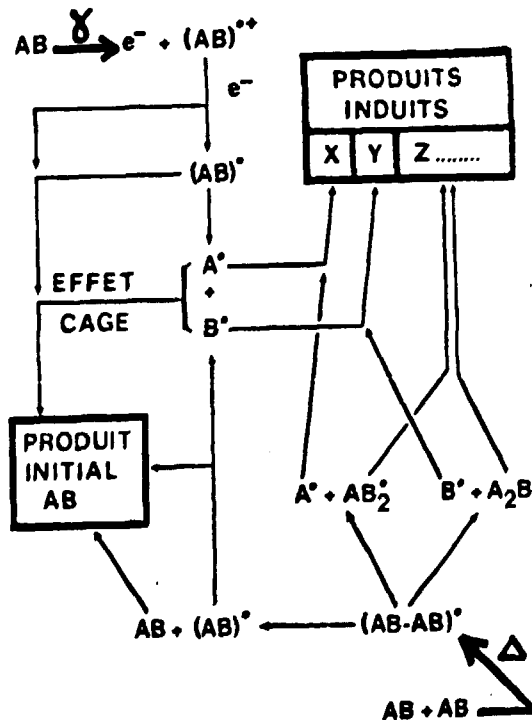
La radiorésistance naturelle des organismes vivants est d'autant plus faible qu'ils sont plus évolués (tableau 1). L'éventail des applications peut être élargi en combinant l'ionisation avec un traitement classique; un préchauffage peut ainsi augmenter la radiosensibilité des spores bactériennes.

L'effet sur les microorganismes est le plus étudié car les applications potentielles sur le plan industriel sont de très loin les plus nombreuses. La dose nécessaire pour stériliser un produit dépend de la contamination initiale N_0 et de la dose de réduction décimale DRD de l'espèce ou de la souche la plus nocive qui est souvent la plus radiorésistante et parfois la plus abondante. Dans la pratique et par analogie avec la stérilisation par la chaleur, on adopte pour N_0 la valeur 10^{12} (concept 12D) pour calculer la dose efficace de stérilisation ($D : 12DRD$).

Tableau 1 : Doses efficaces (kGy) en fonction de l'effet recherché (3)

	Doses efficaces
Inhibition de la germination des bulbes et tubercules	0,04 à 0,10
Stérilisation des insectes	0,03 à 0,20
Mort des insectes	1 à 3
Radication (pathogène)	1 à 4
Radurisation (pasteurisation)	1 à 6
Radappertisation (stérilisation)	15 à 50
Mort des virus	20
Inhibition de l'activité enzymatique	60

Figure 2 : Schémas réactionnels comparés de la radiolyse (gamma) et de la thermolyse (Δ) d'un composé alimentaire AB. La thermolyse conduit à la formation de produits Z.... qui ne peuvent pas être induits par la radiolyse.

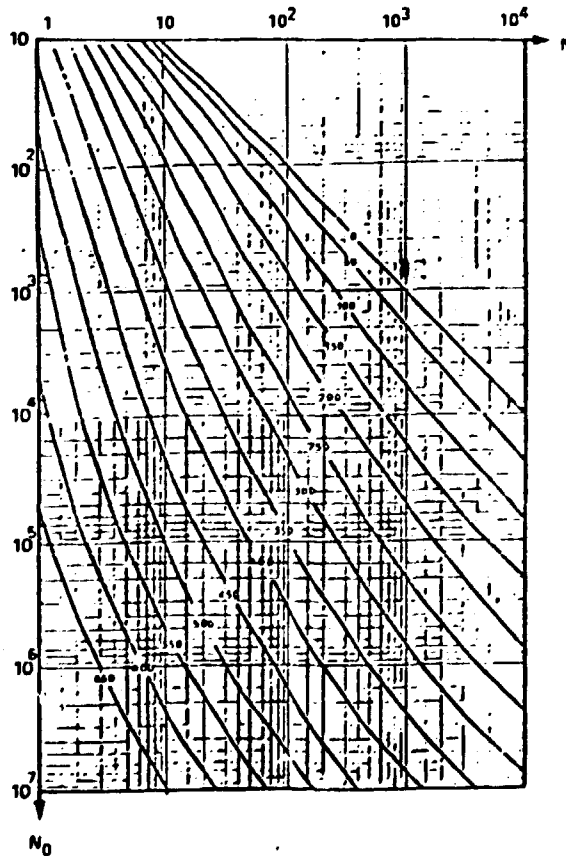


Le problème est plus complexe lorsqu'il s'agit de calculer des doses de radication ou de radurisation : avant d'établir un barème il est d'abord nécessaire de préciser l'espèce ou la souche qu'il faut particulièrement viser. Dans le cas des amidons il s'agit du Bacillus. Le barème établi permet de calculer la dose nécessaire pour obtenir une contamination résiduelle globale N à partir du moment où l'on a déterminé la contamination initiale N_0 (Figure 3).

Les conséquences que pourraient poser d'éventuelles mutations radio-induites ont été souvent étudiées mais ce n'est que dans des conditions sans aucun rapport avec celles qui seront pratiquées industriellement que l'on a pu parfois constater un accroissement de la radiorésistance ou de la production de toxines (1, 4).

Bien que les pertes en céréales occasionnées par les insectes soient beaucoup plus importantes que les pertes d'aliments imputables aux microorganismes, les études entomologiques ont été moins nombreuses. Ceci est dû au fait que les doses efficaces sont faibles et s'inscrivent dans un éventail étroit (0,03 à 0,20 kGy) d'où l'absence de motivation économique, du moins dans une première étape.

Figure 3 : Barème de décontamination de l'amidon (3) : doses en krad, N_0 et N exprimant respectivement le nombre de germes avant et après irradiation.



II - EVALUATION TOXICOLOGIQUE DES DENREES IONISEES

Les premiers travaux significatifs dans ce domaine datent de l'après-guerre et ont été réalisés pour l'essentiel dans des Centres d'Etudes Nucléaires ou par des militaires ce qui n'a pas contribué à effacer la suspicion originelle qui s'attache au procédé ("mythe d'Hiroshima"). Après une période d'efforts désordonnés sur l'efficacité du traitement, les pays occidentaux, suite à la volte-face de la "Food and Drug Administration" le 23 septembre 1968 concernant l'autorisation de commercialiser aux Etats-Unis le bacon ionisé, ont interdit le traitement sauf dérogation produit par produit après examen d'un dossier démontrant notamment l'absence de risques toxiques pour l'homme. En France c'est le décret du 8 mai 1970. Cette législation restrictive est aussi incohérente car elle assimile l'ionisation à un traitement par additifs chimiques. C'est la première fois depuis la loi de 1905 sur la répression des fraudes où l'on demandait aux industriels français d'apporter de telles preuves.

A partir de 1972 c'est le projet international, constitué sous l'égide de la Division Mixte AIEA/FAO avec le concours de l'OCDE et mis en place à Karlsruhe (RFA), qui a joué un rôle majeur dans le domaine de l'évaluation toxicologique. Ce Projet qui regroupait jusqu'en 1981, 24 pays membres et disposait d'un budget annuel de 500 000 dollars, a pu lancer des expérimentations sur animaux de courte et longue durée, entreprendre des travaux en matière de méthodologie et de tests de mutagénicité. Cependant l'activité la plus originale et la plus féconde de ce projet a été la coordination et le financement des études de radiochimie.

I - Essais sur animaux

Jusqu'en 1970 de nombreux essais sur animaux ont été réalisés par les Russes et les Américains sur des aliments très divers, en Europe seuls les Hollandais et les Allemands ont suivi mais sans succès eux aussi. En effet les protocoles étaient alors mal définis (nombre d'animaux, nombre de générations, modalités de l'étude anatomopathologique....) et inadaptés car il n'est pas possible d'appliquer dans le cas des aliments un facteur de sécurité comme pour les produits pharmaceutiques ou les additifs chimiques. Néanmoins les performances zootechniques des animaux soumis à ces essais n'ont pas été modifiées ce qui prouve que les principes nutritifs n'ont pas été altérés.

Après 1972 les expérimentations animales ont été réalisées par le Projet International ou avec sa caution : essais de longue durée sur rats, souris ou chiens nourris avec des aliments ionisés représentatifs des catégories suivantes : poissons, légumes secs, fruits et légumes frais, épices et condiments. Aucune potentialité toxique n'a pu être mise en évidence et les quelques résultats "positifs" enregistrés n'ont jamais été confirmés même dans des conditions expérimentales plus rigoureuses.

Le développement des élevages de rats et souris axéniques et hétéroxéniques ont rendu possible en Grande Bretagne puis en France, avec l'Institut Mérieux, la mise en place d'essais comparés sur un grand nombre d'animaux (rats ou souris) nourris pendant 24 ou 18 mois avec des rations stérilisées soit par la chaleur (120° C pendant 20 minutes) soit par ionisation (44 kGy).

Cette expérimentation d'une grande ampleur qu'aucun centre de recherche n'aurait pu financer a été riche d'enseignements. Elle a confirmé l'absence d'action nocive d'une nourriture ionisée sur "le réactif animal" même dans le cas d'animaux fragiles, dépourvus de certaines défenses immunitaires, comme les souris "nude". L'amélioration de performances d'élevage enregistrée chez les souris hétéroxéniques nourries avec la ration ionisée peut-être interprétée plutôt comme un défaut de la stérilisation par autoclavage que comme une action positive de l'ionisation.

On peut donc affirmer que cette voie expérimentale a été exploitée au maximum et qu'aucun résultat significatif ou reproductible d'ordre toxicologique ionisant n'a été enregistré.

2 - Radiochimie

Pour chaque constituant alimentaire on a entrepris d'identifier et de doser les produits de radiolyse induits par l'ionisation, d'en faire le bilan par classe chimique et d'étudier les divers paramètres jouant un rôle dans leur formation. De très nombreuses recherches ont été effectuées par des laboratoires patronés ou financés par le Projet International. Ils dépendent soit de Centres Nucléaires (Prétoria en Afrique du Sud, Wageningen aux Pays-Bas, Karlsruhe en République Fédérale Allemande, Natick aux USA, Cadarache en France) soit d'Universités (Louvain en Belgique, Budapest en Hongrie et celles du Michigan ou du Massachusetts aux USA). Elles ont abouti aux conclusions suivantes :

- les divers rayonnements ionisants agissent de façon similaire sur les composants alimentaires ;
- il n'existe aucun produit caractéristique d'une ionisation : si ce fait est un avantage sur le plan toxicologique il entraîne un inconvénient majeur sur le plan législatif puisqu'il est impossible de prouver qu'un aliment a été ionisé;
- des aliments de composition chimique voisine se comportent de la même façon, aussi bien pour le mécanisme de formation (étude des espèces radicalaires intermédiaires) que par la nature et la quantité de produits radioformés;
- les quantités de produits radioformés sont toujours faibles; ainsi, dans 1 kg d'aliment modèle (80% d'eau, 6,6% de lipides, 6,6% de protéines et 6,6% de glucides), il se formera moins de 20 mg de produits de radiolyse à la dose de 10 kGy. Cette quantité est inférieure à celle que l'on aurait trouvée après avoir ionisé séparément chacun des constituants; il y a donc un effet protecteur vraisemblablement des sucres vis à vis des protéines.

Les études radiochimiques, comme les essais sur animaux, débouchent sur la même conclusion c'est-à-dire sur l'absence de potentialités toxiques dans les aliments ionisés ou dans leurs constituants traités séparément. Dans ces conditions le Comité Mixte d'Experts OMS/AIEA/FAO réuni à Genève en 1976 et en 1980 a reconnu le premier que le traitement ionisant était un procédé physique qu'il ne fallait plus assimiler à un traitement avec des additifs chimiques, le second que "l'ionisation de toute denrée alimentaire jusqu'à une dose globale moyenne de 10 kGy ne présente aucun risque toxique". Les ministères français concernés, Santé, Agriculture, Industrie, Consommation, ont alors demandé au CEA de rédiger un document rassemblant les données scientifiques disponibles. Ce document a été présenté au cours de la séance plénière du Conseil Supérieur d'Hygiène de France du 27 avril 1982

qui a décidé, décision confirmée quelques temps après par les Académies de Médecine, d'alléger la procédure des dérogations en ne demandant plus d'apporter cas par cas la preuve de l'absence de risques toxiques. Cette décision rend possible l'industrialisation du procédé en France, du moins pour quelques produits, ce qui est déjà réalisé en Hollande, en Israël, en Afrique du Sud et bientôt en RFA et aux États-Unis.

III - CARACTERISTIQUES DU PROCÉDE ET CHAMP D'APPLICATION

Les caractéristiques essentielles des traitements ionisants (photons gamma et X) sont la pénétration et l'absence d'élévation significative de la température. La pénétration est forte notamment dans les produits de faible densité comme les aliments ($d \leq 1$) où elle garantit l'homogénéité et donc l'efficacité du traitement ce qui n'est pas toujours le cas par exemple de la chaleur ; elle rend aussi possible le traitement du produit dans son emballage et sur une grande épaisseur (palettes). De l'absence d'élévation de la température il résulte une moindre altération des principes nutritifs puisqu'il n'y a plus de réaction de type Maillard, la possibilité de traiter les produits frais sans les cuire et d'employer des emballages souples et légers. Il faut aussi souligner que ce traitement est simple, reproductible et faible consommateur d'énergie, caractéristiques qui le différencient de l'appertisation ou de la congélation.

Les traitements ionisants ne remplaceront pas tous les procédés actuellement utilisés, ils ont leurs créneaux. Certains leur sont pratiquement interdits comme celui des produits laitiers ou la nature des acides gras présents très facilement oxydables constitue un obstacle. Dans d'autres créneaux ils sont en concurrence avec le traitement thermique et la congélation, leur développement sera fonction de la conjoncture et pour l'essentiel de l'évolution du coût de l'énergie. Il y a aussi des créneaux où le traitement ionisant apparaît d'ores et déjà comme le meilleur procédé soit même comme le seul. Le premier cas concerne essentiellement les produits déshydratés pour lesquels l'assainissement ou la stérilisation par la chaleur est peu efficace et ceux où l'utilisation d'additifs chimiques est de plus en plus controversée et parfois interdite : farines dites diététiques, rations pour animaux de laboratoire, épices, condiments, fruits et légumes secs. Dans le second cas beaucoup plus vaste il y a lieu de distinguer le secteur des produits frais (viandes et charcuterie plus particulièrement mais aussi volailles, poissons, crustacés, légumes et fruits) où l'ionisation reste associée à la réfrigération (+ 4°C à + 7°C) avec pour objectif d'assainir le produit et de prolonger la durée de conservation à l'état frais de quelques jours à plusieurs semaines de celui du secteur des viandes et produits à base de viande lorsque l'objectif visé est le stockage à la température ambiante pour une durée indéterminée. Ce sont deux secteurs où il reste à acquérir beaucoup de savoir faire c'est-à-dire à préciser les conditions d'application du traitement.

En conclusion le débouché du procédé au stade industriel ne pourra se faire qu'avec l'assentiment et l'aide des pouvoirs publics. L'assentiment car ce sont eux qui délivrent les autorisations. L'aide parce qu'il sera plus le fait des PME ou des filiales discrètes des grands groupes, ceci pour éviter que le problème se pose en termes de stratégie industrielle ou d'image de marque. Les premières installations devront être polyvalentes et implantées dans des régions de densité suffisante au plan de la production ou de la transformation des denrées. Elles devront être financées comme c'est déjà le cas pour nos voisins du Nord, à la fois par des fonds publics et privés afin d'aboutir à des coûts compétitifs sur le plan européen et aussi favoriser la recherche - développement. La tête de série devrait être construite en 1985 dans la région Provence Alpes Côte d'Azur et son implantation et son financement sont actuellement étudiés par APIONAL (Association loi 1901 pour la promotion de l'ionisation alimentaire) sous l'égide du Conseil Régional des chambres consulaires et du CEA.

Mai 1983

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Anonyme - "Wholesomeness of irradiated food". Techn. Rep. Series n°659, WHO, Genève 1981.
- 2 - ELIAS P., COHEN A., "Radiation Chemistry of Major Food Components"; Elsevier, Amsterdam, 1977.
- 3 - SAINT-LEBE L., RAFFI J., HENON Y. "Le traitement ionisant des denrées alimentaires. Efficacité et absence de risques pour l'homme". Rapport CEA R-5162, Saclay, Mars 1982.
- 4 - Anonyme. "Wholesomeness of irradiated food". Techn. Rep. Series n°604, WHO, Genève, 1977.

RESUME

L. SAINT-LEBE, J. RAFFI

"Le traitement ionisant des produits alimentaires"

Les rayonnements ionisants utilisables pour le traitement des produits alimentaires sont définis, leur mode d'action et leurs principaux effets décrits. Le bilan des travaux sur l'évaluation toxicologique (essais sur animaux, radiochimie) des denrées ionisées est alors dressé avant de présenter les caractéristiques du procédé et les perspectives de son développement industriel en France.

présenté à : C.R. du groupe d'action concertée en médecine nucléaire du Sud de la France (Colloque du 7 juin 1983, Nice)

