

# LE TRAITEMENT DES FRUITS PAR LES RADIATIONS IONISANTES

par

**P. DUPAIGNE**

I. F. A. C.

L'application des radiations ionisantes aux fruits n'est qu'un cas particulier de leur application aux aliments, elle-même cas particulier de l'effet général des radiations sur les substances biologiques.

Il convient d'abord de distinguer les radiations ionisantes des autres radiations ; leurs effets sont parfois convergents mais leur production et leurs caractéristiques physiques sont trop différentes pour qu'on puisse les grouper.

Les vibrations élastiques soniques et ultra-soniques ont les fréquences les plus faibles ; si les dernières ont des effets utilisables dans l'industrie alimentaire, c'est qu'elles agissent mécaniquement en induisant dans les particules et micro-organismes des séries de pressions et dépressions faisant l'effet de chocs et pouvant désagréger les structures physiques. Ainsi nous avons obtenu par ultra-sons d'excellentes homogénéisations de jus de tomates et d'abricot ; par contre la stérilisation n'a pu être obtenue dans ces produits en raison de la disposition de l'appareil producteur. Quant aux vibrations soniques, nous les utilisons depuis quelque temps au laboratoire pour augmenter la surface d'évaporation pendant la concentration des jus de fruits, ce qui améliore le rendement horaire.

Passons ensuite aux vibrations électromagnétiques ; les ondes courtes de radio ainsi que leurs voisines dans l'infrarouge sont déjà utilisées depuis longtemps dans l'industrie alimentaire en ce qu'elles produisent un dégagement de chaleur au sein de la masse traitée, permettant par exemple la pasteurisation ou la stérilisation des aliments, le chauffage des plats cuisinés congelés, le chauffage pendant la lyophilisation des fruits, le chauffage du jus d'orange en vue de sa concentration par évaporation ; ces effets de chauffage sont obtenus directement, sans l'intermédiaire d'une paroi

plus chaude que le produit, ce qui est favorable à la qualité finale.

Les vibrations du spectre visible et celles de l'U. V. sont évidemment les plus utilisées par la plante et le fruit ; passons sur l'assimilation chlorophyllienne, la maturation des fruits, leur coloration extérieure, les transformations enzymatiques comme celle qui permet l'apparition rapide de la vanilline dans les gousses vertes de vanille traitées aux ultraviolets. Ces derniers permettent déjà la stérilisation à froid des surfaces et des liquides transparents ; mais nos essais d'utilisation de stérilisateur à eau ont échoué pour les jus de fruits rouges ou trop chargés en pulpe, car la pénétration des U. V. est faible ; d'autre part on ne peut utiliser que des longueurs d'onde qui ne produisent pas d'ozone, oxydant énergétique.

Avec des radiations de longueur d'onde inférieure à 10 Å nous abordons les rayons X qui possèdent une action ionisante, puis les rayons  $\gamma$  plus pénétrants dont la longueur d'onde descend jusqu'à  $10^{-4}$  Å.

Mais parallèlement à ces vibrations électromagnétiques il existe une autre catégorie de radiations ionisantes ; ce sont les particules accélérées : électrons, protons, deutérons, noyaux d'hélium et particules lourdes de fission. Dans cette catégorie on n'utilise en pratique que les électrons rapides des rayons cathodiques provenant des générateurs électriques, et les électrons provenant de la désintégration atomique du neutron (rayons  $\beta$ ) (51).

La caractéristique commune de toutes ces radiations, somme toute très différentes, est de produire l'ionisation des molécules irradiées, c'est-à-dire l'éjection d'un électron de la molécule qui s'ionise en devenant positive. Les modalités des transformations de la molécule (déplacement, éjection des électrons, altération

du noyau) dépendent du type de radiation et de son énergie ; si celle-ci est suffisante, on provoque alors une radioactivité induite, ce qui est à éviter dans les aliments.

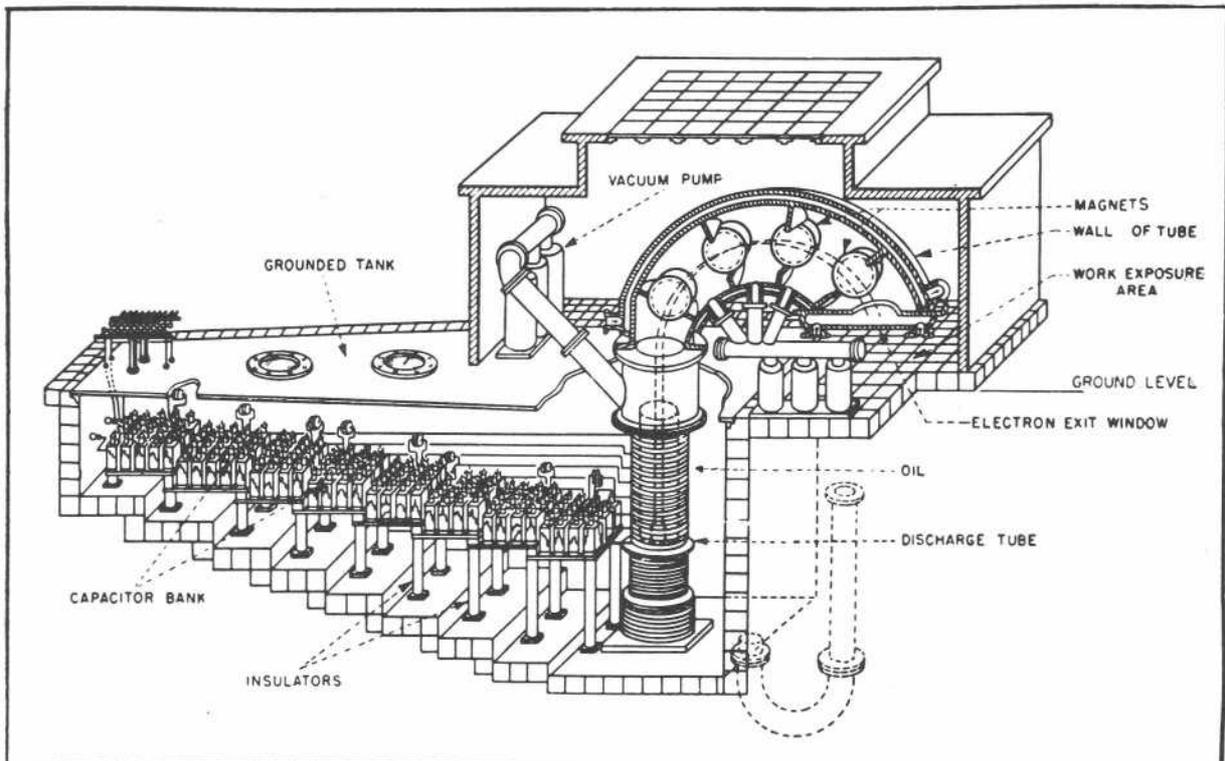
L'emploi des rayons X depuis plus de cinquante ans a été l'occasion de bien des recherches sur leur action biologique, en raison de leur intérêt en thérapeutique et du danger de leur manipulation. On avait déjà observé leur action stérilisante et fait quelques essais sur les aliments avant la dernière guerre (60) mais les tubes générateurs manquaient de puissance. On a pu étendre de façon considérable les investigations dans ce domaine depuis la réalisation des grands accélérateurs d'électrons et la production industrielle des corps radioactifs ; ce qui permettrait de disposer de sources puissantes de rayons X, cathodiques et  $\beta$ .

Les rayons X « mous », c'est-à-dire produites par des tubes de radiothérapie portés à un voltage inférieur à 100 kv, sont peu pénétrants, donc il est facile de s'en protéger, et peuvent être utilisés pour leur action de surface, par exemple la désinfection des fruits entiers (oranges, fraises, pêches). On dispose maintenant de générateurs puissants, de l'ordre de

10 millions d'électrons-volts (MeV), produisant des rayons X « durs » très pénétrants qui peuvent convenir pour stériliser sous une forte épaisseur des aliments emballés. Mais pour obtenir cet effet on préfère utiliser les rayons  $\gamma$  des produits de fission ou se servir directement du flux d'électrons des générateurs électriques.

Les rayons cathodiques ainsi obtenus, avec un meilleur rendement énergétique que les rayons X, sont moins pénétrants, donc nécessitent une protection de béton moins épaisse. Les générateurs sont de types assez différents et il est probable que l'expérience permettra d'en limiter le nombre ; les plus connus sont l'accélérateur de Van de Graaf, le capacitron, le transformateur à résonance, le générateur en cascade de Cockcroft-Walton, les accélérateurs linéaires, le béta-tron (26, 27, 28, 37, 70). Certains de ces appareils sont construits en série, mais leur prix reste élevé ; quant au prix de revient d'une irradiation déterminée, il ne serait compétitif avec celui des procédés classiques qu'à condition d'une utilisation massive et continue ; suivant les doses nécessaires il pourrait varier de 5 à 20 000 dollars par kilowatt d'irradiation, ce qui permettrait le traitement de stérilisation à quelques francs

FIG. 1. — Schéma d'un capacitron (d'après Huber W., *Electronics*, mars 1948, rét. 40).



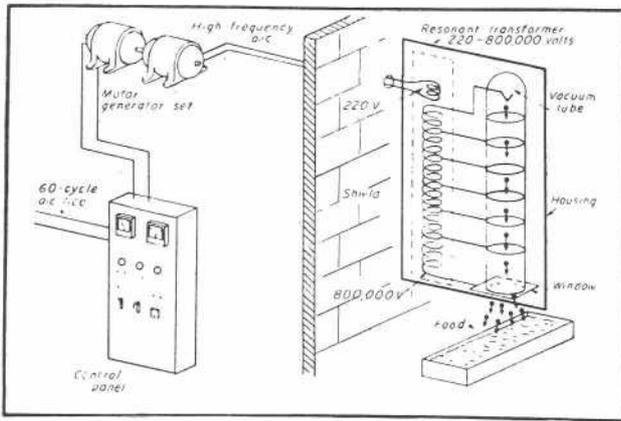


FIG. 2. — Transformateur à résonance (d'après Urbain W. M., *Food Eng.*, fév.-mars 1953, réf. 70).

par kilo de matière irradiée (37-45) et une simple désinsectisation à moins de 1 franc.

En dehors des générateurs électriques, les produits de fission et les déchets radioactifs sont des sources intéressantes de rayons  $\gamma$  et des rayons  $\beta$ . Le cobalt 60, le strontium 90 et le césium 137 sont des éléments utilisables ; les piles G 2 et G 3 de Marcoule produiront du cobalt et du césium radioactifs. D'autre part les barres d'uranium sont utilisables pendant leur période de « refroidissement » ; des irradiations d'aliments ont déjà été effectuées à Saclay avec les barres de la pile P 2 (71) et le puits de désactivation de la prochaine pile EL sera équipé pour faciliter les expériences. L'utilisation des gaz de fission (Xénon et Krypton) serait intéressante, car ils possèdent une radioactivité de courte période et sont actuellement perdus ; mais leur contact direct avec les aliments serait à éviter.

**Dosimétrie.**

Il est primordial de connaître exactement la dose d'irradiation reçue par les aliments exposés, d'abord au cours de la période expérimentale, et aussi lors de l'exploitation commerciale, car si l'irradiation a été insuffisante l'effet cherché n'est pas atteint, et si elle a été trop forte les effets secondaires peuvent altérer la qualité ; en outre une radioactivité induite peut se trouver occasionnée par de fortes puissances (au-dessus de 20 MeV) et par le bombardement par les rayons  $\alpha$ .

Les unités de mesure diffèrent peu les unes des autres ; le röntgen ( $r$ ) définit l'ionisation de 1 cm<sup>3</sup> d'air dans les conditions normales ; il correspond à 89 erg/g pour l'air et 93 erg/g pour l'eau irradiée par les rayons X ou  $\gamma$ . Pour les rayons électroniques on

a proposé l'équivalent physique du röntgen ( $rep$ ) dont la valeur énergétique serait 83 erg/g, ou le *rad* représentant 100 erg/g. Aussi nous n'entreprendrons pas de convertir dans la même unité les chiffres indiqués par les différents auteurs dans leurs travaux (37).

Les procédés utilisables pour la mesure de l'intensité et de la dose d'irradiation n'ont pas à être développés ici (18, 21, 32, 33, 58). Cependant en ce qui concerne les fruits entiers, leur forme irrégulière les expose à de grandes différences dans l'intensité de l'irradiation reçue ; pour étudier pratiquement le problème on a suggéré d'effectuer des essais avec des moulages de ces fruits en gélose imprégnée d'un révélateur (résazurine ou bleu de méthylène) qui change de couleur par ionisation (47).

Enfin il faut rappeler qu'une méthode de dosimétrie utilise le noircissement du verre par irradiation et sa comparaison avec des étalons colorés ; les flacons de jus de fruits ne pourraient supporter impunément les fortes doses nécessaires pour la stérilisation (20-63). De même certaines matières plastiques sont transformées par l'irradiation et leur comportement doit être étudié avant de les utiliser comme emballages pour les fruits et leurs produits.

**Doses nécessaires.**

D'une façon générale les doses léthales sont d'autant plus importantes que l'organisme vivant irradié est

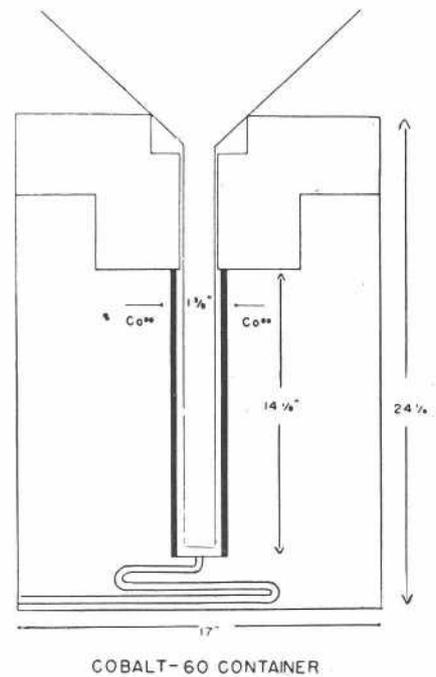


FIG. 3. — Coupe du récipient en plomb pour essais avec Cobalt 60 au M. I. T. (d'après *Food Techn.*, janv. 1953, p. 8).

COBALT-60 CONTAINER

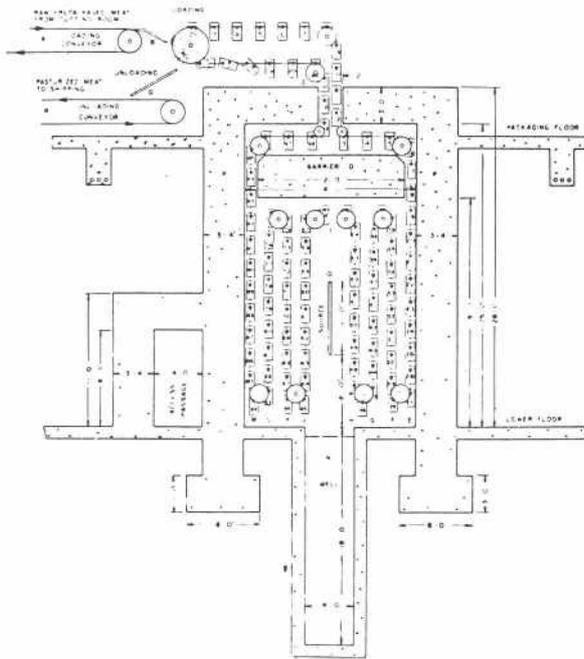


FIG. 4. — Élévation d'une chambre d'irradiation pour aliments emballés (d'après Brownell L. E., *Progr. Rep. Eng. Res. Inst. Univ. Michig.*, 1952 à 1954, réf. 15).

plus simple. Ainsi pour l'homme on admet qu'une irradiation de 500 r sur tout le corps est mortelle, et on évalue à 0,5 r par semaine la dose à ne pas dépasser sous peine de danger (1). Les lapins sont tués par 1000 r, la désinsectisation, application qui semble intéressante pour les denrées sèches en vrac ou emballées (en particulier les fruits desséchés) demande 100 000 rep ; avec 50 000 rep on interrompt la prolifération des insectes en les empêchant de se reproduire. Notons ici la réussite spectaculaire de la lutte contre un insecte déprédateur du cuir des bovidés à Cuba ; des femelles étaient traitées par irradiation à faible dose, de sorte que leurs œufs ne pouvaient se développer normalement. Lachées en grand nombre et régulièrement au-dessus de l'île, elles prenaient la place des femelles normales et en quelques générations le nombre des insectes s'était réduit au point de ne plus provoquer de dégâts. On pourrait très bien imaginer une opération semblable pour certains insectes qui s'attaquent aux fruits ; bien entendu s'il s'agit d'une région et non d'une île, le travail devrait être entretenu d'année en année.

Les micro-organismes sont détruits par des doses plus importantes : 250 000 à 1 million de rep pour les

(1) En réalité, comme les chiffres ne sont valables que statistiquement, la dose létale est celle pour laquelle une population qui lui serait soumise éprouverait 50 % de pertes.

levures et moisissures, 1 à 3 millions de rep pour les spores des bactéries ; les virus exigent jusqu'à 4 millions de rep. Lorsque l'on approche la dose de 1 million de rep, des altérations de saveur et odeur se produisent dans beaucoup d'aliments, ce qui rend la stérilisation par irradiation sans intérêt pratique ; on peut essayer d'éviter ces altérations par l'utilisation des antioxydants, le traitement à l'abri de l'air ou à basse température. Notons en passant que les bactéries sont plus résistantes aux irradiations lorsqu'elles sont protégées par le froid ; un procédé consiste au contraire à traiter le produit en deux fois, dans l'intervalle desquelles les spores ont le temps de germer, ce qui les rend plus sensibles, exactement comme dans cette méthode de traitement par la chaleur connue sous le nom de stassanisation.

On n'a pas manqué de donner, par analogie, le nom de pasteurisation au traitement des aliments par une irradiation insuffisante pour inactiver toute la flore microbienne, mais suffisante pour maintenir une stabilité biologique pratique. Cette pasteurisation peut s'obtenir, suivant le cas, avec des doses variables de 50 000 à 1 000 000 de rep. Enfin on peut obtenir des effets intéressants pour prolonger la vie des fruits par désinfection de surface avec des doses de l'ordre de 50 000 rep sans aucunement provoquer d'altérations internes. C'est dans ce domaine que les résultats semblent les plus prometteurs et nous aurons l'occasion de les analyser.

#### Effets physiologiques.

Dans ce domaine les recherches en sont à leur début ; on utilise surtout les radiations en masse et on observe leur effet destructif, car on sait encore mal comment les répartir avec finesse et sûreté sur le matériel biologique. Bien entendu, elles rendent des services en génétique comme instruments de mutations provoquées, et il est probable que l'arboriculture fruitière en bénéficiera ; mais il s'agit encore là d'un effet brutal.

Des actions de retard de maturation ont été observés sur les bananes et les poires en fruitier, ce serait donc une application présentant un intérêt pratique. Quant au dégermage des pommes de terre et oignons, qui semble bien être une des applications les plus immédiates des radiations aux aliments, il n'a pas d'extension visible dans le domaine des fruits.

#### Travaux sur les fruits.

Les études concernant l'application des radiations ionisantes aux fruits sont rares, par rapport aux re-

cherches sur les viandes ou poissons par exemple ; souvent les fruits sont cités dans un ensemble de produits alimentaires irradiés et les résultats sont sommairement exprimés. Nous ne citerons que les articles dans lesquels les fruits sont expressément désignés (1).

Certaines espèces, comme la pomme ou l'orange, ont été plus étudiées que d'autres ; aussi, pour éviter des répétitions, nous allons simplement passer en revue les espèces classées par ordre alphabétique.

#### Ananas.

L'utilisation du Capacitron, avec 4 impulsions à très haute tension, a permis de conserver 3 mois, sans changement d'odeur ou saveur, des tranches d'ananas sous emballage plastique (40-41). Un autre essai avec 10 impulsions de 1 milliardième de secondes avec des tensions de plusieurs millions de V a légèrement altéré les tranches conservées pendant 8 jours à 28° (13).

#### Bananes.

Les essais du Capacitron ont porté aussi sur la banane (1, 24, 25) qui ramollit sous le flux d'électrons.

Par la suite à l'Université de Michigan on a soumis les bananes vertes ou mûres à des irradiations variant de 10 000 à 1 million de r ; il a été constaté que l'évolution de la maturité était ralentie. Avec des rayons X ou des rayons  $\gamma$  du  $\text{Co}^{60}$ , une dose de 150 000 rep permet de conserver les bananes pendant un mois sans ramollissement de la pulpe ; malheureusement la peau noircit, et un traitement à l'acide ascorbique n'empêche pas cette altération (5, 15, 67).

En Angleterre Hannan a obtenu des résultats plus anes à une irradiation X à 200 000 V ; la malement 15 jours supplémentaires (19,

### ERRATUM

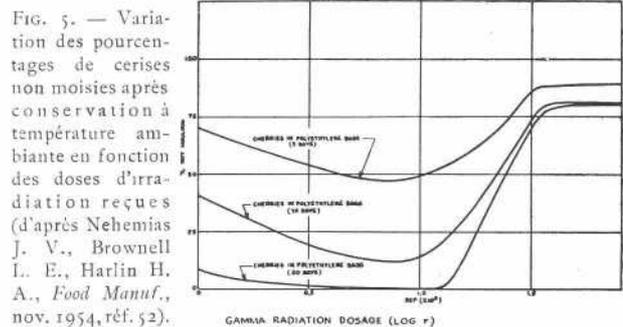
Page 272, 1<sup>re</sup> colonne, ligne 11

au lieu de : à Cuba

lire : à Curaçao.

es cassis sont moins s par les radiations, lé ; cependant une faire perdre leur

(1) Nous avons relevé et examiné environ 350 articles sur le traitement des produits alimentaires ; la liste peut en être obtenue sur demande et ils peuvent être pour la plupart consultés à la bibliothèque de l'I. F. A. C.



saveur de fraîcheur et 1 million de rep, qui serait la dose minimum pour détruire l'ensemble des levures et moisissures, produit un goût de compote et un ramollissement.

#### Cerises.

Les cerises supportent 1 million de rep sans perte d'arôme, mais avec un léger ramollissement ; une dose double provoque un brunissement de la pulpe après quelques heures de conservation (5, 13, 37, 40, 41).

Des essais plus récents montrent l'intérêt de la pasteurisation de surface de ces fruits, avec des doses d'irradiation comprises entre des limites assez étroites : 1 à 1,5 million de rep ; dans ce cas la durée de conservation normale des fruits peut être notablement prolongée (14, 52).

#### Noix de coco.

Des tranches de noix de coco emballées en sachets hermétiques et soumises au bombardement électronique du Capacitron ont été conservées 3 mois sans altérations (40).

#### Châtaigne.

Des essais français sont en cours pour la désinsectisation de ces fruits et Vidal a déjà constaté qu'une dose de 250 000 r détruit les larves du charançon et les chenilles du carpocapse des châtaignes (71).

#### Citron.

Les avis sont assez divers, car ce fruit a été traité à des doses très différentes de rayons cathodiques au (22, 23, 67, 69). Les moisissures *P. digitatum* et *P. italicum* sont détruites par un traitement de surface avec

150 000 rep ; d'autres essais ont prouvé que l'irradiation accélère le déverdissement des citrons (6). On envisage donc d'améliorer la tenue de ces fruits par une pasteurisation de surface. D'autre part le jus de citron n'est pas altéré par 100 000 rep, et un concentré supporte 500 000 à 1 000 000 de rep, dose suffisante pour le stériliser si besoin est (5).

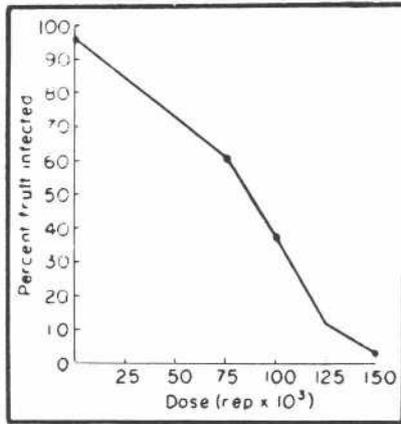


FIG. 6. — Suppression de la pourriture brune des pêches par les radiations ; état des fruits après 10 jours de conservation à température ambiante (d'après Mc Ardle F. J., Nicholas R. C., Wiant D. E., *Food Eng.*, apr. 1957, réf. 49).

#### Fraise.

Ce fruit a fait l'objet de travaux plus nombreux que les précédents car, étant par nature très sensible aux altérations microbiennes, une préservation par les radiations serait de grand intérêt (5, 13, 22, 25, 37, 40, 63, 67).

Une irradiation de surface de 500 000 rep semble être le maximum acceptable ; dans certains cas on peut multiplier plusieurs fois la durée de conservation normale, ce qui facilite le transport lointain et semble être une application d'avenir (8, 9, 14, 46).

#### Framboise.

La forme de ce fruit ne facilite pas la pénétration des rayons cathodiques de faible intensité ; or une dose de 100 000 rep suffit à en altérer l'aspect et 500 000 rep provoque l'apparition d'une saveur acidulée (5, 36, 37, 40, 67).

#### Groseilles.

La groseille rouge se comporte comme la framboise ; une saveur acidulée apparaît avec 500 000 rep ; la groseille à maquereau est encore plus sensible et on note une perte de saveur dès 100 000 rep.

#### Mandarines.

Un article synthétique en langue allemande rapporte que le traitement par rayons des mandarines et de leur jus n'a pas eu de résultats heureux (35) mais il s'agit sans doute d'une erreur de traduction et les résultats concerneraient plutôt des essais américains sur l'orange (38).

#### Melon.

Ce fruit a été l'objet d'essais de conservation après irradiation au moyen du Capacitron, avec de bons résultats (40).

Une conclusion identique a été obtenue par l'équipe de l'Université de Michigan qui a soumis des Cantaloups à une dose de 1 million de rep sans observer de goût dénaturé, bien que la texture soit un peu molle. Le traitement de surface des melons, fruits particulièrement sensibles à la pourriture, permettrait donc d'en prolonger la conservation pendant la commercialisation (15, 67).

#### Myrtilles.

Le bombardement électronique du Capacitron a permis une bonne conservation, sans altération de goût, de ces petits fruits assez délicats (13, 40). Par contre des irradiations effectuées par le M. I. T. ont fait apparaître les inconvénients habituels : saveur étrangère, ramollissement (69). Des essais plus récents montrent qu'un traitement modéré permet de prolonger la durée de conservation des myrtilles tenues au réfrigérateur (14).

#### Orange.

Ce fruit est souvent cité, car il a fait l'objet de recherches nombreuses. Il convient de distinguer les traitements de pasteurisation de surface du fruit frais, effectués dans le but de diminuer l'action des moisissures et de prolonger ainsi la période de conservation et les traitements effectués sur le jus d'orange dans l'espoir d'assumer ou d'améliorer sa conservation.

Les traitements de surface, effectués de préférence par des rayons cathodiques, ne doivent pas dépasser une dose assez faible : 60 à 150 000 rep ; sinon la saveur de la pulpe et du jus est modifiée. Par une irradiation à la dose maximum de 150 000 rep, des oranges artificiellement contaminées avec du *Penicillium* ont pu se conserver sans pourriture pendant 2 mois en

chambre froide, alors que les témoins non irradiés ne tenaient que 15 jours (2, 6, 8, 22, 67).

Avant d'aborder le traitement du jus d'orange, nous devons noter la découverte intéressante et inattendue faite par l'équipe de Brownell à l'Université du Michigan ; une irradiation ionisante peut diminuer l'amertume du jus des oranges de la variété Navel qui, le fait est connu depuis longtemps, ne convient pas à la fabrication du jus à cause de sa richesse en naringine. Des fruits entiers traités par 30 000 rep ont donné des jus moins amers que les témoins non irradiés ; par contre des doses de 60 et 100 000 rep augmentaient l'amertume, et l'irradiation directe du jus faisait apparaître un goût caractéristique peu agréable (3, 4, 15, 69).

Des tranches d'oranges emballées en sachets et soumises à des impulsions électroniques se sont bien conservées (13, 40). Par contre le traitement du jus est assez décevant ; son goût rappelle celui du jus pasteurisé avec parfois une saveur désagréable de chou ; des essais divers ont été entrepris sans succès pour faire disparaître cet inconvénient : vide, atmosphère d'azote ou de gaz carbonique, additions d'acide ascorbique, carotène, hydroquinone, thiourée ou acide ascorbique. Le jus traité par 2 millions de rep en récipients étanches se conserve sans fermentation. Avec une dose moindre, 150 000 rep, on ne peut pas le stériliser mais seulement augmenter sa tenue à froid ; l'irradiation du jus congelé empêche le développement des saveurs anormales (5, 15, 23, 34, 37, 54).

Cette dernière constatation s'accorde bien avec des essais sur la stabilité de l'acide ascorbique dans les jus d'orange irradiés : la rétention de l'acide ascorbique est totale dans le jus congelé traité par 1 million de rep ; elle n'est que de 40 % dans le jus maintenu à température ambiante. Mais l'acide ascorbique est plus stable dans le jus d'orange, qui le protège sans doute par d'autres composants, qu'isolé en milieu aqueux (59). Avec une irradiation moindre (750 000 rep) la destruction de la vitamine C atteint encore 50 % dans le jus (51) et nous savons par ailleurs que cette vitamine est une des moins stables vis-à-vis des radiations ionisantes (31, 34, 42, 56, 61, 63).

Les concentrés d'orange, qui connaissent aux États-Unis une large extension, sont conservés par congélation ; il serait important de pouvoir les stabiliser par un procédé économique n'altérant pas leur qualité ; aussi a-t-on essayé de les irradier. On peut parfaitement les stériliser avec 500 000 rep et leur saveur n'est pas affectée ; malheureusement les enzymes ne sont pas inactivés et la saveur se dégrade rapidement si l'on ne maintient pas les basses températures. Une

irradiation de 5 millions de rep, très onéreuse, ne détruit que 25 % de l'activité de la pectine-estérase et dénature le goût. En conséquence les radiations n'apportent pas la solution définitive du problème (64).

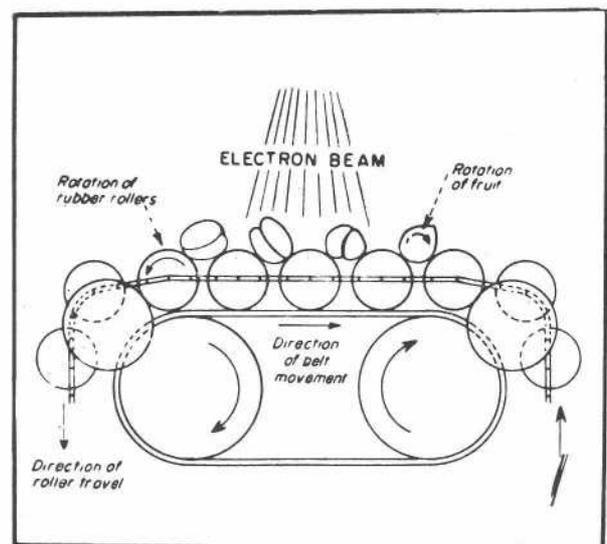
Des poudres d'orange obtenues par lyophilisation ont supporté une dose maximum de 320 000 rep de rayons du cobalt 60 (15) sans altération de goût ; il est probable que si ces poudres avaient été maintenues sous vide à un faible taux d'humidité, elles auraient supporté des doses plus fortes.

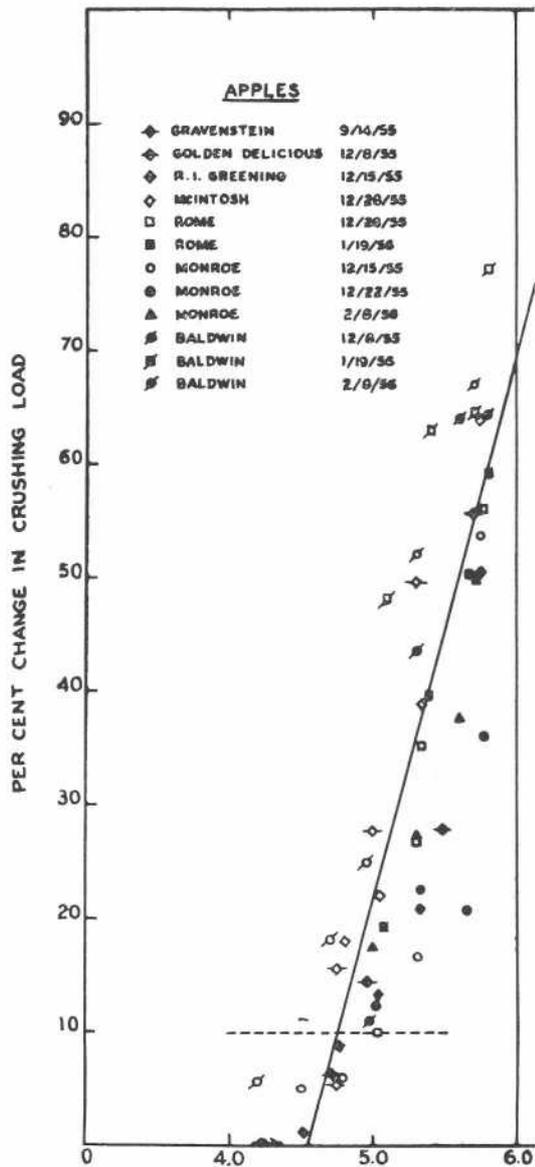
### Pêches.

La fragilité de ces fruits les rend particulièrement sensibles aux pourritures de surface ; d'autre part leur pulpe riche en polyphénols s'oxyde facilement et la conservation du jus est difficile. Or, contrairement à l'orange, la pêche supporte sans inconvénient des doses assez fortes de rayonnement, aussi les essais d'application des radiations semblent-ils plus prometteurs que pour les agrumes.

Les premiers essais avec le Capacitron sur des tranches de pêches en bocaux ont montré un ramollissement de la chair qui conservait cependant son goût et son odeur (13, 40) ; après 3 mois de conservation on notait un peu de brunissement. Les premiers essais du M. I. T. semblaient peu encourageants (63, 69) mais c'est surtout l'Université du Michigan et des firmes particulières qui ont précisé les conditions d'emploi des radiations (5, 15, 37, 49, 52, 69).

FIG. 7. — Procédé pour irradier les fruits sur toutes leurs surfaces (d'après Mc Ardle F. J., Nicholas R. C., Wiant D. E., *Food Eng.*, apr. 1957, réf. 49).





million de rep : au-dessous les moisissures sont plus actives que sur les témoins non irradiés, sans doute

Avec 400 000 et jusqu'à 1 million de rep, peu de changements de texture ni couleur, la saveur prend un peu celle de l'amande amère sans être désagréable ; avec 1,5 et 2 millions de rep les changements deviennent excessifs et la chair ramollie devient plus susceptible aux attaques des moisissures ; par contre des morceaux de pêche au sirop contenant 0,1 % d'acide ascorbique supportent sans dommage 1,5 million de rep et même plus et sont ainsi stérilisés.

Une expérience a montré que la protection des pêches entières était meilleure entre 1 million et 1,5

FIG. 8. — Influence de la dose d'irradiation sur le ramollissement de la pomme (d'après Boyle F. P., Kertesz Z. I., Glegg R. E., Connor M. A., *Food Res.*, Jan. 1957, réf. 12).

parce que la texture est légèrement affectée ; au-dessus les fruits sont abîmés par les radiations (52). Si l'on veut seulement une « pasteurisation » de surface, permettant de prolonger la conservation, on constate par exemple que 150 000 rep provenant des rayons cathodiques d'un transformateur à résonance de 1 MeV diminuent de 95 % les moisissures, pour une conservation de 10 jours. Les fruits sont exposés aux radiations sous toutes leurs faces, car ils progressent sur un transporteur à rouleaux de caoutchouc (49).

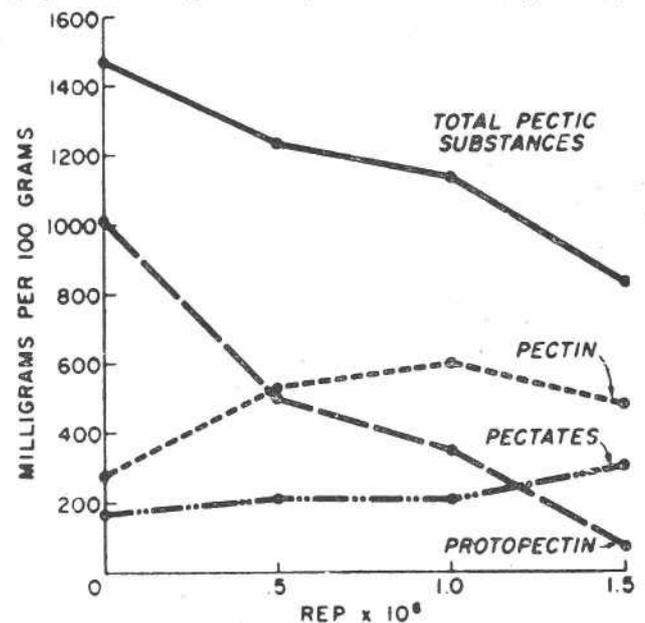
Des essais plus récents permettent de conclure que la pasteurisation de surface des pêches permet de multiplier la durée normale de conservation frigorifique (14, 39).

Mentionnons une étude sur la stabilité de la niacine dans les pêches irradiées (72), et un article énumérant les aliments qui ont donné satisfaction aux essais massifs de l'Intendance américaine, met la pêche en première place (22).

#### Poire.

Des morceaux de poire irradiés par le Capacitron ont été fortement altérés par 10 impulsions (13, 25) ; de la purée de poire se serait mieux comportée (41). Pour l'Intendance américaine, l'irradiation des poires

FIG. 9. — Effet des rayons  $\gamma$  sur les substances pectiques de la pomme (d'après Mc Ardle F. J., Nehemias J. V., *Food Techn.*, déc. 1956, réf. 48).



reste à mettre au point (22). Cependant une pasteurisation de surface permettrait d'améliorer la tenue des fruits au frigorifique (14). Enfin des essais préliminaires réalisés en Angleterre et repris cette année ont montré que l'on peut retarder la maturation des poires vertes conservées au frigorifique : il s'agirait donc d'un effet physiologique des radiations sur ces fruits, et non d'une simple destruction de moisissures ou levures (8).

#### Pomélo.

Ce fruit supporte une irradiation de 500 000 rep sans inconvénient, selon les travaux du Michigan (5, 15, 67). Il pourrait donc être protégé contre les attaques des moisissures par une pasteurisation de surface.

Quant au jus de pomélo, il a pu être conservé plusieurs mois sans altération en flacons de verre, de même que le mélange de jus de pomélo et d'orange, après avoir reçu 4 impulsions électroniques du Capacitron. Il est probable que l'amertume normale du jus frais masque un changement de saveur, comme on le constate aussi pour les jus pasteurisés par la chaleur (40).

#### Pomme.

A première vue il semble étonnant que la pomme ait pu inspirer des travaux nombreux, ce fruit qui se conserve somme toute facilement par les procédés classiques supportant mal les radiations ionisantes ; on sait depuis déjà 10 ans que la pomme entière ramollit à partir de 300 000 rep (54, 55) et que les tranches ne peuvent être stérilisées sans subir une altération de texture (13, 25, 40).

Sans doute faut-il se rappeler que la pomme est le fruit national américain et qu'il constitue en outre un matériel de recherches commode et bon marché.

Aussi trouve-t-on des études récentes et approfondies sur les transformations induites par les radiations dans la texture de la pulpe et en particulier sur les composés pectiques (12, 30, 43, 44, 48, 63).

Le ramollissement commence dès la dose de 15 à 20 000 rep ; les pectines sont détruites ou solubilisées, les protopectines disparaissent et les pectates augmentent. Des résultats semblables ont été observés sur la carotte, et pourraient sans doute s'expliquer le mécanisme des modifications physiques apportées par les radiations à d'autres fruits : poires, cerises, fraises.

Le traitement de surface avec de faibles doses de rayons peu pénétrants pourrait sans doute améliorer la durée de conservation des pommes au fruitier (14, 65, 73), mais c'est plutôt sur les produits de la pomme :

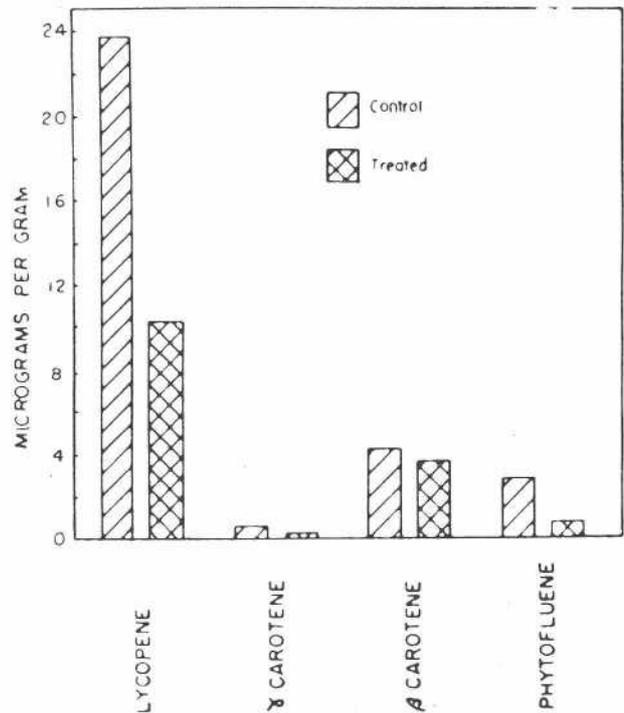


FIG. 10. — Effet d'une irradiation de 500.000 rep sur le développement des pigments de la tomate (d'après Burns E. E., Desrosier N. W., *Food Techn.*, juin 1957, ref. 16.)

purée et jus, que les radiations pourraient avoir leur application commerciale. En effet, contrairement à d'autres jus précédemment étudiés, le jus de pomme supporte sans dénaturation de goût de fortes doses d'irradiation, de l'ordre du million de rep, ce qui est suffisant pour assurer sa stabilité biologique (5, 10, 15, 25, 35, 37, 50, 51, 54, 55, 66, 67).

D'autre part la valeur nutritive et la composition vitaminique ne sont pas altérées. La purée ou sauce de pomme supporte sans dommage une dose de 2 millions de rep, ce qui constitue une exception parmi les fruits non desséchés (5, 15, 41, 67). Cependant les enzymes restent actifs et il faudrait 5 à 7 millions de rep pour inactiver la tyrosinase qui provoque le brunissement de la pomme à l'oxygène (5, 11).

En résumé les travaux semblent assez avancés pour pouvoir, si les facteurs économiques sont favorables, préciser les conditions de conservation par radiations de tranches de pomme (29, 68), des purées et du jus de pomme.

#### Prune, Pruneau.

La prune, fruit dont la conservation est de courte durée, ne peut supporter que 400 000 rep sans dom-

mage elle pourrait donc moins bien résister à un traitement de surface que la pêche (5, 15, 41).

Par contre les pruneaux secs sont les fruits sur lesquels les doses les plus fortes ont été essayées sans dommage pour leur teneur physique, leur couleur et leur saveur : 1 million, 2 millions et jusqu'à 10 millions de rep ; à cette dernière dose la peau n'est pas affectée, la chair est seulement pâlie mais reprend sa couleur en 15 jours à température ambiante. Le jus a été soumis aux rayons cathodiques d'un générateur de 3 millions de V jusqu'à 20 millions de rep et son brunissement provenait de l'apparition de composés du furfurole, bien qu'il n'ait pas été chauffé (5, 17, 53, 57, 70).

#### *Raisin — Raisin sec.*

Des essais d'irradiation de raisin frais sont simplement mentionnés (1, 13, 41, 69) mais c'est surtout les raisins secs que l'on a traité, dans l'espoir de les débarrasser non seulement des insectes, ce qui est facile avec de faibles doses, mais des levures et moisissures. On a constaté que ces produits supportent de fortes doses sans altération, moins fortes cependant que les pruneaux secs : 10 millions de rep les décolorent, peau et pulpe, et la couleur revient mal après 15 jours de conservation. Néanmoins les raisins secs emballés sous une feuille plastique étanche peuvent être parfaitement stérilisés avec des doses normales, 1 ou 2 millions de rep, sans inconvénients pour leur qualité (5, 53, 57, 70).

#### *Tomate.*

Ce fruit légume n'a pas grande valeur commerciale, néanmoins sa fragilité relative le désigne pour des essais en vue de prolonger sa conservation (14, 62, 69). On peut constater qu'il supporte bien de fortes doses de rayonnement, jusqu'à 2 millions de rep ; un léger goût de cuit apparaît à cette dose dans la tomate entière, et seulement pour 1 million de rep dans la tomate en tranches, sans doute en raison de la surface exposée à l'air ; la décoloration n'apparaît qu'à 4 millions de rep dans le fruit entier (2 millions dans les tranches) et la texture change un peu (5, 13, 37).

Comme pour la banane et la poire, des observations sur des modifications dans la maturation de la tomate ont été décrites récemment (16). Des irradiations cathodiques effectuées au moyen d'un accélérateur linéaire de 4,5 MeV à l'Université de Purdue ont montré que l'intensité respiratoire est doublée avec 1,5 million de rep ; d'autre part la coloration ne se développe pas

normalement pendant la maturation des tomates irradiées après leur cueillette, à l'état vert : la teneur en carotène est normale, mais les teneurs en lycopène et phytofluène sont réduites lorsque la dose reçue est de 500 000 rep ; fait curieux, à la dose de 1,5 million de rep la couleur commence par se développer plus vite que dans les fruits non traités : peut-être est-ce là une conséquence de la stimulation de la respiration. L'article ne donne pas d'informations sur la composition des éléments énergétiques ; il est probable qu'une évolution anormale serait observée. On peut espérer que dans les années prochaines de nombreux travaux de ce genre nous aideront à voir dans les radiations autre chose qu'un procédé global de destruction des micro-organismes (1).

Quant au jus et concentré de tomate, contrairement au fruit intact, il supporte assez mal les radiations puisque la saveur est altérée dès 250 000 rep, dose insuffisante pour le stabiliser (5).

#### **Conclusion.**

Une telle énumération ne manque pas d'être monotone ; elle montre cependant que les travaux concernant l'irradiation des fruits et produits de fruits sont déjà nombreux, bien qu'on puisse constater des lacunes : nous n'avons rien trouvé sur les abricots, les dattes, les noix et amandes, les figues séchées par exemple.

On voit aussi se dessiner une évolution dans l'étude de ces problèmes. Les premiers essais, commencés il y a une dizaine d'années, consistaient à irradier sans idée préconçue des aliments très divers et à observer leur comportement. Ensuite on a essayé de pallier les inconvénients propres aux radiations ionisantes en se protégeant contre l'oxygène ou en ajoutant des agents divers ; depuis peu enfin, nous assistons à des études systématiques sur les effets possibles des radiations sur tel ou tel fruit. Peut-être verrons-nous bientôt des expériences entreprises sinon sur le terrain, au moins sur l'arbre fruitier.

Il n'est pas douteux que les radiations ionisantes, qu'il faudra sans doute alors séparer en plusieurs groupes, apporteront une contribution importante à la connaissance du fruit, tout en aidant par des réalisations commerciales à une plus grande utilisation des produits fruitiers.

(1) Un travail sur l'irradiation des plantes vertes fait état d'une stimulation de la production d'acide ascorbique sous l'influence des radiations. (COOKE, A. R. Effect of irradiation on the ascorbic acid content of green plants. *Science*, 117, 3048, 588, mai 1953).

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) Anon. — Energie electronique et conserves alimentaires. *Off. Cons.*, 3, 10, 31, août 1948.
- (2) Anon. — Sterilization by cathode rays. *Canner*, 116, 24, 9, juin 1953.
- (3) Anon. — I. F. T. to talk radiation. *Canner*, 120, 23, 24, mai 1955.
- (4) Anon. — Effect of rays on food. *Food Manuf.*, 30, 6, 233, juin 1955.
- (5) Anon. — Food radiation round-up. *Food Eng.*, 27, 8, 43, août 1955.
- (6) Anon. — Food preservation by irradiation. I. *Food*, 26, 315, 462, déc. 1957.
- (7) Anon. — Food preservation by irradiation. II. *Food*, 27, 316, 3, janv. 1958.
- (8) Anon. — Food preservation by irradiation. III. *Food*, 27, 317, 63, fév. 1958.
- (9) Anon. — Rays kill strawberry mold. *Food Eng.*, 30, 1, 18, janv. 1958.
- (10) ASSELBERGS (E. A.), FERGUSON (W. E.), McQUEEN (E. F.). — Effect of Na sorbate and ascorbic acid on attempted radiation pasteurization of apple juice. *Food Techn.*, 12, 3, 156, mars 1958.
- (11) BELLAMY (W. D.), LAWTON (E. J.). — Problems in using high voltage electrons for sterilization. *Nucleonics*, 12, 4, 54, apr. 1954.
- (12) BOYLE (F. P.), KERTESZ (Z. I.), GLEGG (R. E.), CONNOR (M. A.). — Effect of ionizing radiations on plant tissues. *Food Res.*, 22, 1, 89, jan. 1957.
- (13) BRASCH (A.), HUBER (W.). — Ultra-short application time of penetrating electrons. *Science*, 105, 113, 1947.
- (14) BRODY (A. L.), BARGER (J.), MERCHANT (H. D.), PERKSEN (N. A.), ROTH (N. H.). — Evaluation of refrigerated shelf life of irradiated foods. Rep. 159, 18th Meeting Inst. Food Techn., mai 1958, Chicago.
- (15) BROWNELL (L. E.) et al. — Utilization of the gross fission products. Progr. Rep. No 2, 3, 5, 6, 7. Eng. Res. Inst., Univ. Michig, 1952 à 1954.
- (16) BURNS (E. E.), DESROSIER (N. W.). — Maturation changes in tomato fruits induced by ionizing radiations. *Food Techn.*, 11, 6, 313, jun. 1957.
- (17) CAVANAGH (J.). — Current developments in atomic irradiation preservation of food. *Canner*, 112, 11, 16, mai 1955.
- (18) CHARM (S. E.), GOLDBLITH (S. A.), PROCTOR (B. E.). — Theoretical considerations in food processing by irradiations. *Food Tech.*, 8, 10, 473, oct. 1954.
- (19) CHOVIN (P.). — L'utilisation des rayonnements ionisants dans l'industrie des denrées alimentaires. *Ann. Fals. Fraudes*, 49, 569, 203, mai 1956. *Ind. Agr. Alim.*, 73, 5, 323, mai 1956.
- (20) CONTROULIS (J.), LAWRENCE (C. A.), BROWNELL (L. E.). — The effect of radiation on some pharmaceutical products. *J. Am. Pharm. Assn (Sci. Ed.)*, 43, 2, 65, fév. 1954.
- (21) DANALD (G. E.), FARLOS (D. F.). — Pointers on controlling dosage in food irradiation. *Food Eng.*, 29, 6, 60, jun. 1957.
- (22) DANALD (G. E.). — Food irradiation makes strides. *Food Eng.*, 29, 12, 57, dec. 1947.
- (23) DIEHL (H. C.). — Is irradiation a supplement or substitute for present preservation methods? *West. Can. Pack.*, 48, 5, 34, mai 1954.
- (24) ECOFFARD (P.). — Le Capacitron. *Rev. Gén. Froid*, 26, 6, 461, jun. 1949.
- (25) ERROL (F. J.). — Electronic preservation of foods. *Food Manuf.*, 23, 12, 579, dec. 1948.
- (26) EVANS (B. S.). — Radiation source round-up. *Food Eng.*, 27, 11, 107, nov. 1955.
- (27) EVANS (B. S.). — An evaluation of radiation sources as a means for processing foods. *Food Techn.*, 9, 12, 615, dec. 1955.
- (28) FOSTER (F. L.), DEWEY (D. R.), GALE (A. J.). — Radiation sterilization. Van de Graaf accelerator for sterilization use. *Nucleonics*, 11, 10, 14, oct. 1953.
- (29) GILLIES (R. A.) et al. — Radiation sterilization of apple slices. *Food Techn.*, 11, 12, 648, dec. 1957.
- (30) GLEGG (R. E.), BOYLE (F. P.), TUTTLE (L. E.), WILDON (D. E.), KERTESZ (Z. I.). — Effect of ionizing radiations on plant tissues. I. Quantitative measurement of the softening of apples, beets and carrots. *Rad. Res.*, 5, 127, 1956.
- (31) GOLDBLITH (S. A.), PROCTOR (B. E.). — Effect of high voltage X rays and cathode rays on vitamins. *Nucleonics*, 5, 2, 50, 1949.
- (32) GOLDBLITH (S. A.), PROCTOR (B. E.), HAMMERLE (O. A.). — Evaluation of food irradiation procedures. *Ind. Eng. Chem.*, 44, 8, 310, fév. 1952.
- (33) GOLDBLITH (S. A.) et al. — Studies on the dosimetry and bactericidal effects of radiation from Cobalt 60 sources. *Radio-logy*, 60, 5, 732, mai 1953.
- (34) GOLDBLITH (S. A.). — Preservation of foods ionizing radiations. *J. Am. Diet. Assn.*, 37, 3, 243, mars 1955.
- (35) GRAUL (E. H.). — Grundlagen, Praxis und Problemen der Sterilisation und Konservierung durch Gammastrahlen. *Atom-praxis*, 1, 1, 20, 48, oct. 1955.
- (36) HANNAN (R. S.). — The preservation of foods by ionizing radiation. *Food Sci. Abstr.*, 26, 1, 121, janv. 1954.
- (37) HANNAN (R. S.). — Scientific and technological problems involved in using ionizing radiations for the preservation of food. Dept. Sci. and Ind. Res., Food Investig., Special Rep., n° 61, London, 1955.
- (38) HANNAN (R. S.). — Radiation preservation of foods : the present position. *Bull. Inst. Int. Froid*, 37, 1, 179, 1957.
- (39) HANNAN (R. S.). — Radiation processing of foods. *Food Manuf.*, 32, 10, 457; oct. 1957. *Food. Manuf.*, 32, 12, 559, dec. 1957.
- (40) HUBER (W.). — Electronic preservation of foods. *Electronics*, 21, 3, 74, mars 1948.
- (41) HUBER (W.), TRAUB (F. B.), FRIEDMANN (U.), BRASH (A.). — Sterilization by electronic bombardment. *Canner*, 111, 11, 10, sept. 1950.  
HUBER (W.), BRASCH (A.), WALY (A.). — Effect of processing conditions on organoleptic changes in foodstuffs sterilized by high intensity electrons. *Food Tech.*, 7, 3, 109, mars 1953.
- (42) KERTESZ (Z. I.), MORGAN (B. H.), TUTTLE (L. W.), LAVIN (M.). — Effect of ionizing radiations on pectin. *Radiation Res.*, 5, 372, 1956.
- (43) KERTESZ (Z. I.), GLEGG (R. E.), BOYLE (F. P.), FOX (G.). — Effect of ionizing radiations on plant tissues. III. Softening and changes in pectins and cellulose of apples, carrots and beets. Rep. n° 162, 18th Meeting Inst. Food Techn., mai 1958, Chicago.
- (44) KUPRIANOFF (J.). — Les radiations ionisantes et leurs applications à la conservation des aliments. *Ind. Agr. Alim.*, 73, 9, 645, sept. 1956.
- (45) LEVINGSTON (G. E.), MARKAKIS (P.), NAIK (A. G.), FRANCIS (F. J.), FAGERSON (I. S.). — Effect of Gamma ray and cathode ray irradiation on the color stability of model systems of some pigment and non-pigment constituents of strawberry jellies. Rep. n° 161, 18th Meeting Inst. Food Techn., Chicago, mai 1958.
- (46) Mc ARDLE (F. J.), WIANT (D. E.). — Tracer technique gages raying of irregular shape foods. *Food Eng.*, 28, 1, 85, jun. 1956.
- (47) Mc ARDLE (F. J.), NEHEMIAS (J. V.). — Effect of gamma radiation on the pectic constituents of fruits and vegetables. *Food Tech.*, 10, 12, 599, dec. 1956.
- (48) Mc ARDLE (F. J.), NICHOLAS (R. C.), WIANT (D. E.). — Rays show big promise in curbing fruit decay. *Food Eng.*, 29, 4, 74, avr. 1957.
- (49) MACK (S. D.), ALBRECHT (J. J.), LICHTFIELD (J. H.), PARKER (M. E.). — Studies in the cold sterilization of liquid foods using mercury resonance radiation. II. Apple juice. Rep. n° 43, 18th Meeting Inst. Food Techn., Chicago, mai 1958.
- (50) MORGAN (B. M.), BOHRER (C. W.). — Sterilization by atomic radiation. *Nat. Can. Assn. Inf. Letter*, n° 1426, p. 64, fév. 1953.

- (52) NEHEMIAS (J. V.), BROWNELL (L. E.), HARLIN (H. A.). — Radiation pasteurization of fresh fruit. *Food Manuf.*, 29, 11, 431, nov. 1954.
- (53) NICKERSON (J. T. A.), PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.). — Ionizing radiations in the processing of plant animal products. *Food Techn.*, 10, 7, 305, jul. 1956.
- (54) O'MEARA (J. P.). — The effect of supervoltage cathode rays on fluid foods S. B. Thesis, Dept of Food Techn., M. I. T., 1949.
- (55) O'MEARA (J. P.). — Radiation chemistry and sterilization of biological materials by ionizing radiations. *Nucleonics*, 10, 2, 19, feb. 1952.
- (56) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.). — Effects of soft X rays on vitamins (niacin, riboflavin and ascorbic acid). *Nucleonics*, 5, 2, 50, 1949.
- (57) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.). — The effect of supervoltage cathode rays on the non-enzymic browning reactions of dried fruits and on chemical compounds pertaining thereto. *Science*, 109, 2838, 519, mai 1949.
- (58) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.). — Oxidation reduction dyes as radiation indicator. *Nucleonics*, 7, 2, 83, 1950.
- (59) PROCTOR (B. E.), O'MEARA (J. P.). — Effect of high voltage cathode rays on ascorbic acid. *Ind. Eng. Chem.*, 43, 3, 718, mars 1951.
- (60) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.). — Electromagnetic radiation fundamental and their applications in food technology. *Adv. in Food Res.*, 3, 119, 1951.
- (61) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.), BATES (C. J.), HAMMERLE (O. A.). — Biochemical prevention of flavor and chemical changes in foods and tissues sterilized by ionizing radiations. *Food Techn.*, 6, 7, 237, jul. 1952.
- (62) PROCTOR (B. E.), GOLDBLITH (S. A.), NICKERSON (J. T. R.). — An investigation relating to the processing of fruits and vegetables treated by supervoltage cathode rays. Progr. Rep., Contract n° 140-38817 B, Bureau of Accounts U. S. Navy, 1953.
- (63) PROCTOR (B. E.). — Food preservation with the use of irradiation. *Ind. Refrig.*, 127, 1, 17, jul. 1954.
- (64) ROY (W. R.). — Irradiated juices. *Quick Frozen Foods*, 18, 8, 79, mars 1956.
- (65) SALUNKHE (D. K.), POLLARD (L. H.), GERBER (R. K.), WILCOX (E. B.). — Effects of different environments prior, during and subsequent to gamma radiation on the quality and shelf-life of certain fruits and vegetables. Rep. 44, 18th Meeting Inst. Food Techn., Chicago, mai 1958.
- (66) SCHWEIGERT (B. S.). — Grappling with the problems of cold sterilization. *Food Eng.*, 26, 9, 70, sept. 1954.
- (67) SCHWEISSHEIMER (W.). — Radioaktiv bestrahlte Fruchtsäfte. *Ind. Obst-u. Gemüseverwertung*, 42, 13, 289, jul. 1957.
- (68) STAFF (F. E.). — Advances in freeze drying and irradiation cited. *Food Eng.*, 29, 6, 100, jun. 1957.
- (69) THOMAS (F. B.). — Irradiation preservation of foods. *Canner*, 122, 5, 13, mars 1956.
- (70) URBAIN (W. M.). — Facts about cold sterilization. *Food Eng.*, 25, 2, 45, fev. 1953. *Food Eng.*, 25, 3, 77, mar. 1953.
- (71) VIDAL (P.). — L'application des radiations à la stérilisation et à la conservation. *Rev. Gen. Froid*, 34, 11, 1155, nov. 1957. *Rev. Gen. Froid*, 34, 12, 1245, dec. 1957.
- (72) ZIPORIN (Z. Z.), KRAYBILL (H. F.), THACH (H. J.). — Vitamin content of foods exposed to ionizing radiations. *J. Nutrit.*, 63, 201, 1957.
- (73) SMOCK (R. M.), SPARROW (A. H.). — A study of the effect of radiation on apples. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 70, 67; 1957.

