

EUR 2402.f

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE – EURATOM

**ÉTUDE SUR LES MÉTHODES D'IDENTIFICATION
DES DENRÉES ALIMENTAIRES IRRADIÉES**

par

A. LAFONTAINE et L. BUGYAKI

1965



Contrat Euratom N° 016-63-12 PSTB

AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission de la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (EURATOM).

Il est précisé que la Commission d'EURATOM, ses cocontractants ou toute personne agissant en leur nom:

- 1° — Ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé décrit dans le présent document ne portent pas atteinte à des droits privés.
- 2° — N'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés divulgués dans le présent document.

Ce rapport est vendu au prix de 50,— francs belges, sur demande adressée à: PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES - 98, chaussée de Charleroi, Bruxelles 6.

Le paiement se fait par versement à:

- la BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) - Bruxelles - compte n° 964.558,
- la BELGIAN AMERICAN BANK AND TRUST COMPANY - New York - compte n° 22.186,
- la LLOYDS BANK (Europe) Ltd. - 10 Moorgate, London E.C. 2,

en mentionnant la référence: « EUR 2402.f . ETUDE SUR LES METHODES D'IDENTIFICATION DES DENREES ALIMENTAIRES IRRADIEES. »

Achévé d'imprimer par Snoeck-Ducaju & Fils, Gand.
Bruxelles, avril 1965.

Manuscrit reçu le 23 février 1965

EUR 2402.f

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE – EURATOM

**ÉTUDE SUR LES MÉTHODES D'IDENTIFICATION
DES DENRÉES ALIMENTAIRES IRRADIÉES**

par

A. LAFONTAINE et L. BUGYAKI

1965



Contrat Euratom N° 016-63-12 PSTB

TABLE DES MATIERES

	Pages
1 -- INTRODUCTION ET BUT DU RAPPORT	4
2 -- EXPOSE DES METHODES	7
2. 1 -- Mesure de l'état paramagnétique de l'atome	7
2. 2 -- Electrophorèse	8
2. 3 -- Potentiel d'oxydo-réduction (rH)	9
2. 4 -- Polarographie	9
2. 5 -- Spectrophotométrie	9
2. 6 -- Chromatographie	11
2. 7 -- Colorimétrie	11
2. 8 -- Structure microscopique	13
2. 9 -- Immunologie	13
2.10 -- Microbiologie	14
2.11 -- Emballage	15
2.12 -- Modification des caractères organoleptiques	17
3 -- COMMENTAIRES SUR LES METHODES	20
4 -- SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS	26
5 -- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	31

ETUDE SUR LES METHODES D'IDENTIFICATION DES DENREES ALIMENTAIRES IRRADIEES

PREFACE

D'une façon relativement aiguë, se posent actuellement sur le plan mondial des problèmes concernant une production accrue d'aliments et surtout la mise en œuvre de leur conservation et de leur distribution en des endroits parfois éloignés, tout en leur gardant leurs propriétés nutritives. C'est pourquoi, l'application pratique des radiations ionisantes à la conservation des aliments a été envisagée depuis un certain nombre d'années; ses perspectives peuvent être considérées comme favorables et plusieurs pays ont déjà autorisé la mise en vente de quelques aliments irradiés. Cependant, dans certains pays on estime qu'il existe encore une incertitude au sujet de la salubrité des aliments irradiés, ce qui a conduit les autorités sanitaires de ces pays à prendre des mesures préventives et des dispositions réglementaires en vue de limiter l'importation et la mise en vente des produits irradiés et même, parfois, d'interdire l'irradiation de produits alimentaires destinés à la consommation.

Le problème général est de pouvoir disposer de moyens de contrôle commodes, permettant une identification des denrées irradiées tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif: il faudrait être en mesure de déterminer si une denrée a été ou non irradiée, et d'évaluer la dose à laquelle elle aurait été exposée au cours du traitement. Même si théoriquement il existe un certain nombre de méthodes susceptibles d'être utilisées à cet effet, différentes raisons en rendent l'emploi difficile en vue d'un contrôle régulier et systématique des aliments.

Le présent rapport a été établi à la demande de la Direction Protection sanitaire: il donne un aperçu des différentes méthodes qui pourraient être envisagées en mentionnant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles; les critères auxquels devraient répondre les techniques les plus adéquates ont été également précisés.

Cette publication veut être une contribution intéressante à une meilleure connaissance des études entreprises en vue de mettre au point une méthode pratique d'identification des aliments irradiés et fait apparaître les voies dans lesquelles des recherches complémentaires devraient être conduites.

Dr. P. RECHT

1. INTRODUCTION

BUT DU RAPPORT

La conservation et l'entreposage des aliments ont toujours été un problème essentiel associé au développement de la société humaine. Son importance n'a fait que grandir et il est certain que l'accroissement de la population du globe, l'augmentation de la densité humaine dans certaines régions et la nécessité d'assurer parfois le transport des denrées sur de longues distances exigent, outre une amélioration quantitative et qualitative de la production, des recherches pour une meilleure conservation des denrées alimentaires produites.

Les denrées destinées à l'alimentation humaine sont pour la presque totalité périssables: leur altération débute souvent immédiatement après la récolte ou l'abattage. Cette altération peut entraîner des perturbations parfois importantes de leur valeur nutritive et parfois l'apparition de produits indésirables voire toxiques. De plus, les denrées peuvent servir de vecteurs à des infections parasitaires ou microbiennes. Enfin, au cours de leur conservation elles peuvent être détruites par de nombreux prédateurs.

Jusqu'à la mise en œuvre des radiations ionisantes, les principales méthodes de conservation des aliments étaient le séchage, la salaison, la marinade, le fumage, le froid, la stérilisation thermique et l'emploi de certains antiseptiques chimiques: le plus grand progrès de notre époque fut la découverte de la possibilité de conserver les aliments stérilisés par la chaleur à l'intérieur de récipients étanches (appertisation).

Les procédés classiques ont leurs avantages et leurs inconvénients: parmi ceux-ci il faut noter l'altération parfois profonde des caractères organoleptiques, la diminution de certaines propriétés nutritives et la perte éventuelle de certains composants essentiels. L'utilisation de certains conservateurs chimiques permet de résoudre certaines difficultés mais elle introduit un risque nouveau non négligeable, à savoir la toxicité de l'agent conservateur pour l'être humain. L'application du froid élimine la plupart des désavantages, mais, malgré les progrès réalisés dans les procédés de réfrigération, les difficultés techniques restent considérables pour réaliser une chaîne permanente du froid et des facteurs économiques empêchent par ailleurs d'en étendre géographiquement l'utilisation à un nombre croissant de denrées.

Il était normal que les possibilités offertes par les radiations ionisantes, surtout depuis le développement des emplois de l'énergie nucléaire, soient explorées: leur action sur la désinfestation, la désinfection, la stabilisation et la conservation des denrées ouvrirait en effet la voie à des applications encourageantes, qui occuperaient une place à part dans la gamme des procédés utilisés jusqu'à présent.

Dès 1930. un brevet fût déposé concernant un procédé de conservation des aliments par les rayons X. Depuis lors les essais d'applications industrielles se sont multipliés que les radiations ionisantes soient produites par des accélérateurs d'électrons ou par des substances radioactives artificielles.

Notre souci dans le présent rapport n'est pas d'étudier les procédés techniques ou d'envisager les aspects économiques de l'utilisation des radiations ionisantes dans la conservation des aliments: notre but est d'évoquer la répercussion éventuelle d'un tel usage sur la santé de l'homme amené à consommer des denrées irradiées et surtout de faire le point des procédés qui pourraient être mis en œuvre pour dépister de telles denrées et connaître la dose d'irradiation à laquelle elles ont été soumises.

* * *

Les radiations ionisantes cèdent de l'énergie à la matière: les atomes, qui ont absorbé cette énergie, deviennent « excités ». Si l'énergie transférée est suffisante, l'excitation de l'atome atteint un tel degré que le noyau devient instable et peut émettre une particule devenant ainsi lui-même radioactif. De cette façon, les radiations ionisantes peuvent induire la radioactivité dans une substance qui ne présentait pas ce caractère. La possibilité d'une telle induction dépend d'un côté de la nature de la substance et d'un autre côté de l'énergie de la radiation. Sans entrer dans les détails, nous pouvons affirmer que les rayons gamma d'énergie inférieure à 2,2 MeV et le flux d'électrons d'énergie inférieure de 10 MeV ne peuvent dans aucun cas donner naissance à une radioactivité préoccupante dans les denrées alimentaires irradiées: la radioactivité induite est toujours très faible et n'intéresse par ailleurs que des radioisotopes à vie courte: cela veut dire que les techniques actuellement recommandées qui recourent soit au rayonnement γ du Cobalt ou du Césium, soit aux accélérateurs d'électrons émettant des particules dotées d'une énergie inférieure à 10 MeV ne sont pas dangereuses par les substances radioactives éventuellement induites mais, en même temps, cela signifie que le dépistage des denrées par la mesure de leur activité est un leurre. Le danger de radioactivité induite écarté, reste, entre autres, le risque provenant des substances chimiques de grande réactivité, créées par la radiation ionisante sur son trajet. En effet, si l'énergie communiquée par l'irradiation n'est pas suffisante pour induire la radioactivité dans les aliments traités, elle est capable par exemple d'éjecter un électron orbital des atomes « excités », laissant derrière elle un ion chargé positivement. L'électron éjecté peut réagir avec un ou plusieurs autres atomes en les ionisant suivant le processus précédent, jusqu'au moment où l'énergie de cet électron s'affaiblit. Il peut alors être capté par un atome et s'insérer dans sa couronne électronique, en formant un ion chargé négativement. Si les atomes, excités sous l'influence de l'irradiation, font partie d'une molécule, la molécule entière peut devenir excitée. L'excitation peut être assez importante pour rompre une ou plusieurs liaisons moléculaires. Cette rupture donne naissance à des radicaux, qui même s'ils sont électriquement neutres, sont toujours chimiquement très actifs et capables d'entraîner des réactions en série. Les modalités d'une telle réaction sont loin d'être toutes connues et par conséquent nous ignorons généralement quels peuvent être les produits formés au cours de ces réactions. Plusieurs produits finals ont été pourtant identifiés, parmi lesquels quelques-uns sont reconnus nocifs (comme certains peroxydes ou certains aldéhydes). Par ailleurs, quelques auteurs comme Ehrenberg et ses collaborateurs ont suggéré que, abstraction faite du danger provenant des produits nocifs évoqués plus haut et nés de la réaction en chaîne, une partie de l'énergie communiquée par l'irradiation à l'aliment, y reste accumulée temporairement. Cette « énergie emmagasinée » pourrait être libérée ulté-

rieurement et entraîner des altérations biologiquement importantes. On comprend que ces considérations théoriques corroborées par certaines données expérimentales aient fait naître un doute en ce qui concerne l'innocuité des aliments irradiés: il en est résulté des études destinées à éclairer la situation et à nous fixer au sujet de la comestibilité et l'innocuité des denrées irradiées. De nombreuses recherches ont été entreprises qui font appel à de nombreuses disciplines biologiques: en effet à côté du risque éventuel de l'apparition de substances toxiques, cancérigènes ou mutagènes et de l'éventuelle énergie emmagasinée, il ne faut pas perdre de vue les destructions éventuelles d'éléments nutritifs essentiels d'une part et les répercussions microbiologiques d'autre part. A ce dernier propos, les germes anaérobies en raison de leur radiorésistance relative posent des problèmes sérieux sans parler de l'hypothèse plausible de mutation génétique induite dans certaines espèces microbiennes.

Les résultats de ces recherches sont parfois fort divergents: certains auteurs affirment que les aliments irradiés peuvent être consommés sans danger tandis que d'autres concluent à un risque indubitable. Cette divergence résulte en partie du fait que les doses d'irradiation appliquées varient avec le but recherché (de 0,008 Mégard pour inhiber la germination des pommes de terre à 5 Mégard pour une stérilisation) et du fait de la variété des denrées irradiées: une réunion d'experts à Rome en avril 1964 sous les auspices de la F.A.O., de l'O.M.S. et de l'A.I.E.A. a abouti à la conclusion que les essais de comestibilité et d'innocuité à appliquer devaient être envisagés denrée par denrée, compte tenu du but de l'irradiation et de la technique utilisée.

Il est en tous cas prématuré d'émettre un jugement définitif sur l'ensemble du problème: néanmoins, dès à présent, certains pays comme les U.S.A., le Canada et l'U.R.S.S. ont autorisé la mise en vente de plusieurs aliments irradiés et il faut prévoir que les transactions concernant certains d'entre eux ne se limiteront pas à la mise en vente du produit à l'intérieur des frontières nationales. Se pose donc, sur le plan du contrôle national et international, le problème de l'identification des aliments irradiés en vue de les différencier des denrées conservées par les méthodes classiques et en vue, secondairement, de déterminer la dose d'irradiation.

* * *

Nous avons recherché dans la littérature scientifique les travaux déjà faits dans un tel but et nous avons étudié ceux qui, en rapports étroits avec l'analyse des aliments irradiés, permettraient d'envisager la découverte de méthodes susceptibles de démontrer et de mesurer l'irradiation antérieure éventuelle d'un aliment.

Nous avons à cet effet parcouru les revues encyclopédiques et les publications spécialisées afin de rassembler le plus grand nombre possible de documents relatifs au problème qui nous était confié: nous avons ensuite à partir de ces travaux remonté à certaines recherches fondamentales pour aboutir à une documentation aussi complète et détaillée que possible pour les confronter à certaines recherches personnelles que nous conduisons.

Les principaux travaux que nous avons retenus figurent dans la bibliographie annexée à la présente étude.

2. TECHNIQUES ET METHODES EVENTUELLEMENT UTILISABLES POUR IDENTIFIER L'IRRADIATION ANTERIEURE D'UNE DENREE ALIMENTAIRE

Nous avons cru utile de grouper les techniques et les méthodes éventuellement utilisables en les classant d'après les diverses disciplines auxquelles les chercheurs ont fait appel: celles-ci sont très diverses et vont de la physique pure à la microbiologie en passant par l'histologie, la chimie, voire l'étude des caractères organoleptiques.

Dans ce chapitre, nous ne commenterons pas chaque technique ou méthode éventuellement utilisable: nous avons jugé plus facile de grouper nos remarques en un chapitre intitulé « Commentaires » où nous passons en revue les avantages et les désavantages de chacune d'entre elles en fonction du but poursuivi.

2.1. Mesure de l'état paramagnétique de l'atome

La langue anglaise emploie plutôt les termes « measure of the electron spin resonance » (ESR): dans notre exposé, nous recourons à cette abréviation internationalement utilisée.

Nombreux sont les ouvrages qui décrivent la théorie et les aspects expérimentaux de l'ESR en général: nous en citerons deux que nous estimons excellents [1, 2] et qui permettent d'atteindre une connaissance plus approfondie sur cette méthode récente.

Sans vouloir entrer dans les détails, nous évoquerons les principes de la méthode et les aspects de son utilisation en biologie.

Essentiellement, la mesure de l'ESR vise la détection d'un électron isolé (célibataire) ou du désappariement des électrons (découplés) gravitant autour des noyaux atomiques.

L'aptitude d'une substance de pouvoir modifier le champ magnétique régnant à l'endroit qu'elle occupe, est appelée « paramagnétisme »: elle est liée à certains éléments de la structure même de la substance, les électrons. Ceux-ci, en gravitation sur des orbites atomiques ou moléculaires et en mouvement sur eux-mêmes, jouent le rôle de minuscules aimants qui s'orientent selon les lignes de force du champ.

La mesure de l'interaction des électrons célibataires et découplés et du champ magnétique régnant permet de déterminer leur concentration (quantité), mais ne donne pas d'information sur leur environnement. Pour y parvenir et partant pour identifier la nature des substances chimiques, il faut pouvoir mesurer l'interaction très faible (hyperfine force) qu'exerce l'état paramagnétique du noyau sur celui de l'électron: cette interaction est fonction de l'orientation relative du moment magnétique du noyau et de celui de l'électron.

La mesure de l'ESR est capable en principe de nous éclairer non seulement de la quantité des électrons célibataires ou découplés, mais elle est également apte à nous renseigner de la nature de la substance: la méthode permet des mesures quantitatives et qualitatives.

La mesure de l'ESR est utilisée de plus en plus depuis quelques années dans les recherches de radiochimie. Elle fut appliquée d'abord sur des substances pures à l'état

cristallin. Ensuite, elle fut expérimentée avec des composés plus complexes et même avec des produits biologiques: cheveux, os, plumes, hydrates de carbone et protéines déshydratées.

La méthode fut également utilisée avec succès sur des fragments de tissu humain (foie) à des fins d'analyses cliniques [3]. Les auteurs de ces travaux affirment en outre que la plupart des tissus normaux d'animaux contiennent 10^{-8} M de radicaux libres, associés au mécanisme enzymatique cellulaire.

Nous n'avons trouvé qu'un seul travail spécialement consacré à l'analyse de denrées alimentaires, en l'occurrence les graisses.

H. Luck et coll. [4], étudiant, à l'aide de l'ESR, des graisses irradiées, ont pu démontrer dans celles-ci la présence de radicaux parmi lesquels les peroxydes et les radicaux allylés ont pu être identifiés. Les auteurs soulignent les difficultés d'interprétation qui surgissent en raison de la variation structurelle des graisses selon la température d'analyse.

Par ailleurs, nous citerons les travaux de W. Bradshaw et F.K. Truby [5] qui par l'ESR ont montré l'apparition de radicaux libres dans la viande irradiée, dans les glycérides et l'albumine de l'œuf, tandis que F.K. Truby avec J.P. O'Meara et T.M. Shaw [6] ont montré que l'apparition des radicaux libres détectables par l'ESR dans les aliments irradiés est fonction des multiples facteurs intervenant dans les conditions d'irradiation et après l'irradiation tout en soulignant que certains types de radicaux libres sont spécifiques de l'irradiation.

2.2. Electrophorèse

Deschreider [7] a étudié les modifications décelables par l'électrophorèse qui surviennent au niveau des protéines dans la poudre d'œuf irradiée. Ces recherches ont porté sur la composition de certains éluats obtenus par des extractions fractionnées. Notamment les éluats obtenus à pH 4,0 sur colonne de sable et ceux obtenus à pH 5,0 et 7,1 sur colonne de carboxyméthyl cellulose ont été étudiés: dès la dose de 0,5 Mégarad, on observe l'affaiblissement considérable ou l'effacement des bandes caractéristiques, altérations qui n'apparaissent pas, même après un an, dans la poudre d'œufs conservée par d'autres techniques. Malheureusement il faut, comme nous venons de le dire, pour obtenir ces modifications caractéristiques, atteindre ces doses élevées de rayonnement qui sont la limite supérieure de celles couramment recommandées pour l'élimination des pathogènes (salmonella) dans les poudres d'œufs.

A. Caputo [8] a étudié quelques caractéristiques physico-chimiques de la sérum-albumine de bœuf, irradiée par 5 Mégarad de rayons X.

L'analyse électrophorétique met en évidence que les molécules ont subi de profondes modifications: on distingue deux groupes de molécules dont le comportement électrophorétique est différent de celui de l'albumine non irradiée. 60 % des molécules appartiennent au premier groupe; leur vitesse est augmentée, 40 % appartient au deuxième groupe: elles restent immobiles dans le champ électrique. Le point isoélectrique des composants du premier groupe, calculé sur la base des valeurs de la mobilité à des pH divers se situe à pH 4,27 (contre pH 4,75 pour l'albumine normale).

Nous mêmes, en collaboration avec Bruaux, nous avons entrepris des études électrophorétiques et immuno-électrophorétiques sur la viande irradiée au delà du Mégard: certaines modifications du spectre protidique semblent être en relation spécifique avec l'irradiation parce qu'elles ne se superposent pas aux altérations observées sous l'influence d'autres techniques de conservation.

2.3. Potentiel d'oxydo-réduction (rH)

Schmidt-Lorenz [9] a publié les résultats des mesures du potentiel d'oxydo-réduction, effectuées sur le poisson et la viande emballés en sachet de polyéthylène et irradiés en vue d'une pasteurisation: les doses utilisées étaient de l'ordre de 0,5 à 3 Mégard.

Il ressort de ces travaux que le rH des échantillons irradiés augmente rapidement et se maintient à une valeur élevée (+ 300 mV) pendant la période de conservation (10 semaines), tandis que dans les échantillons témoins, il descend vers la valeur négative et se stabilise aux environs de -200 à -300 mV. Le glissement du rH vers des valeurs positives dans les échantillons irradiés serait dû aux réactions chimiques produites par l'irradiation et notamment aux peroxydes, tandis que l'abaissement du rH dans les échantillons non irradiés résulterait du métabolisme des bactéries en phase de multiplication intensive.

A la suite de ces observations, l'auteur recommande la détermination du rH dans des préparations de viande et de poisson traitées par l'irradiation en vue de leur conservation: une valeur positive indiquerait l'irradiation antérieure de la préparation. Par ailleurs, les valeurs très négatives du rH renseigneraient sur la pollution microbienne de l'échantillon et éviteraient ainsi l'application des fastidieuses méthodes microbiologiques.

2.4. Polarographie

Les auteurs japonais Tetsujiro Obara et coll. [10] ont effectué des analyses polarographiques sur la viande irradiée. Les résultats de leurs recherches ont été publiés dans une série d'articles en japonais, dont nous n'avons pas pu obtenir la traduction intégrale jusqu'à présent. A défaut des détails, nos considérations sont basées sur les résumés parus dans la revue « Nuclear Science Abstracts ». En tous cas, les mesures polarographiques faites sur les extraits de la viande obtenus à l'aide d'ammoniaque ou d'une solution aqueuse de NaCl à 7 % sont capables de mettre en évidence la dénaturation des protéines par irradiation. En ce qui concerne l'extrait réalisé avec la solution de chlorure de sodium, la polarographie, faite immédiatement après l'irradiation, n'indique pas de différence entre la viande irradiée et le témoin. Par contre, les mesures exécutées ultérieurement, pendant la période de conservation, indiquent des changements notables, provenant de l'altération des protéines.

2.5. Spectrophotométrie

Tuchscheerer [11, 12] s'est préoccupé des modifications de certaines constantes optiques (indice de réfraction et absorption dans la lumière visible et dans l'U.V.) ainsi que des variations de viscosité dans les fruits (pêches) et les jus de fruits (jus de

raisin): l'irradiation des fruits et des jus de fruits est faite dans diverses conditions (absence et présence d'air, températures variables).

Si la viscosité et l'indice de réfraction ne subissent aucune modification caractéristique, la spectrométrie serait par contre capable de mettre en évidence des modifications qui permettent de conclure à la nature du traitement appliqué. En utilisant des modèles de solutions composites de sucre, Tuschsheerer a démontré que les modifications optiques sont liées aux altérations relatives des sucres présents. La situation de la bande d'absorption dépend de la proportion initiale des divers sucres dans l'échantillon avant l'irradiation: cette bande se situe à 2650 Å pour le jus de raisin qui contient 8,50 g de fructose et 6,50 g de glucose par 100 ml.

L'auteur souligne l'importance de la quantité de fruits utilisés pour réaliser l'extraction afin d'obtenir des extraits homogènes et représentatifs.

Tuschsheerer estime que pendant les 4 semaines qui suivent la préparation du jus, il est possible de savoir s'il y a eu ou non irradiation à la condition que l'on dispose de deux échantillons témoins équivalents de même couleur: l'un traité par irradiation, l'autre traité par la chaleur.

De plus, l'auteur signale que l'allure des courbes obtenues en portant sur un diagramme l'évolution des modifications relevées périodiquement permet de distinguer, pour un jus de fruit inconnu, si celui-ci a été traité par l'irradiation ou la pasteurisation thermique.

Tuschsheerer formule toutefois des réserves quant à l'application de la méthode à des mélanges de jus ou à des jus additionnés de conservateurs chimiques.

Deschreider [7, 13] a également fait des mesures d'adsorption dans le spectre visible et dans l'ultra-violet sur les éluats de l'extraction fractionnée de la farine et de la poudre d'œufs irradiés.

En ce qui concerne la farine, la fraction la plus intéressante est obtenue à l'aide de butanol, au cours de l'extraction progressive: cette fraction contient un nombre élevé de composants, parmi lesquels des lipides, des lipoprotéines, des caroténoïdes, des xanthophylles, des flavonoïdes et des composés semblables à la chlorophylle. Les caroténoïdes sont particulièrement sensibles à l'irradiation. Leur dosage à l'aide de la spectrométrie en lumière visible démontre qu'ils ont totalement disparu après une irradiation d'1 Mégarad, tandis que leur diminution atteint déjà 11 % pour une irradiation de 0,2 Mégarad.

Fait important, des modifications proportionnellement analogues s'observent pour la farine non irradiée en tant que telle mais provenant de grains irradiés avec des doses du même ordre. Il semble donc que cette méthode puisse être valable pour l'identification des farines et des blés irradiés: même si la farine provient de blé irradié, elle accuse, aux doses égales, cette diminution par rapport au témoin. Ce serait donc une méthode de valeur pour l'identification de la farine irradiée.

Deschreider [7] a également soumis à l'analyse spectrométrique des éluats de la poudre d'œufs irradiée: l'action fortement dénaturante des radiations sur les caroténoïdes du jaune d'œuf, ainsi que leur influence sur les lipides, sont mises en évidence par des modifications enregistrées dans les spectres en lumière visible et en lumière ultra-violette de la fraction lipidique.

Le spectre des caroténoïdes en lumière visible présente deux sommets d'absorption très nets qui disparaissent dès que la dose atteint 0,5 Mégarad: pourtant si la mesure est

effectuée quelques jours après l'irradiation, on voit réapparaître discrètement ces deux sommets.

Quant au spectre d'adsorption des lipides dans l'ultra-violet, il montre, après irradiation, la disparition de la bande de 2800 Å et l'augmentation des bandes de 2300 Å et 2690 Å.

Pour la fraction protidique de la poudre d'œuf, on observe après irradiation un changement d'allure du spectre dans l'ultra-violet pour les éluats pH 10. Cette modification est absente pour les éluats pH 10 des témoins et le spectre obtenu s'apparente à celui du lysozyme. Malheureusement cette modification caractéristique n'apparaît que pour des doses supérieures au Mégard, c'est-à-dire supérieures à celles utilisées technologiquement pour ce produit.

2.6. Chromatographie

A.R. Deschreider, étudiant des farines traitées par des doses d'irradiation de 0,2 à 5 Mégard, a soumis à une analyse chromatographique les diverses fractions obtenues par extraction progressive: son attention s'est portée sur les protéines et sur les produits de dégradation des polysaccharides, ces derniers semblant jouer un rôle protecteur vis-à-vis des protéines.

L'auteur note une augmentation du rapport non protéines/protéines pour les trois premiers solvants de la séquence. Il constate également des altérations du diagramme d'élution des protéines: pour les fortes irradiations, le déplacement porte sur 14 à 18 % des protéines et le glissement s'opère vers les pH acides ou les concentrations salines faibles tandis que pour les irradiations de l'ordre de 0,2 Mégard, le déplacement porte sur seulement 4 % des protéines et le glissement se fait vers les pH alcalins ou les concentrations salines fortes.

Ces modifications d'après l'auteur seraient suffisamment importantes pour déceler une irradiation antérieure.

Le même auteur [7] a soumis à l'analyse chromatographique les éluats de l'extraction fractionnée de la poudre d'œufs irradiée avec des doses de 0,5, 1 et 2 Mégard. Il conclut de ses essais que la répartition des protéines dans les divers éluats n'est pas suffisamment significative pour en tirer des conclusions certaines. Cependant, les différences sont plus nettes lorsque la dose atteint 2 Mégard: elles se présentent sous forme de la diminution de la fraction pH 7,1, de l'augmentation sensible de la fraction pH 10,0 et de l'insoluble.

2.7. Colorimétrie

J.H. Wertheim et coll. [14] ont étudié la colorimétrie du lait irradié en employant comme réactif l'acide thiobarbiturique (ATB). Ils ont conclu qu'il y a rapport direct entre la dose d'irradiation et l'intensité de la réaction. La séparation chromatographique a démontré qu'il s'agit d'un groupe de pigments formés au cours de l'irradiation. Le pigment rougeâtre, dont l'absorption se situe à 5350 Å, est produit aussi bien dans la fraction lipidique que dans la délipidée. Par contre, on ne trouve pas dans la fraction lipidique irradiée le pigment qui a un maximum d'absorption à 5000 Å. Les pigments qui inter-

viennent dans la réaction de TBA ne sont pas responsables de l'altération marquée du goût et de l'odeur observée dans le lait irradié.

N.L. Smith et coll. [15] ont adapté à la viande la réaction à l'ATB, l'irradiation de celle-ci induit la formation des composants qui réagissent avec l'ATB en donnant une coloration rouge. Ces auteurs ont réussi à les séparer en 2 groupes, dont un présente le maximum de son absorption à 5340 Å et l'autre à 5520Å. Le premier groupe correspond à la réaction de l'ATB avec l'aldéhyde malonique, le second à la réaction de l'ATB avec le glyoxal. L'aldéhyde malonique résulte de l'oxydation des acides gras non saturés à la suite de l'irradiation, tandis que le glyoxal peut provenir aussi bien des protéines que des glucides ou des lipides.

G. Thieulin et coll. [16] se sont inspirés des travaux des auteurs précédents et ont vérifié la valeur de la méthode pour l'identification de la viande irradiée.

En dehors de l'ATB, ils ont étendu leurs recherches à un autre réactif, à savoir le 3-méthyl-2-benzo-thiazolone-4-hydrazone sous forme de chlorhydrate (MBTH) qu'ils ont trouvé supérieur à l'ATB. D'essais faits avec le glyoxal et l'aldéhyde malonique, à l'état pur, ou additionnés à la viande, ils démontrent que la réaction colorée est due à la présence de ces deux aldéhydes: les maximum d'adsorption sont les mêmes (5350 Å pour ATB et 6400 Å pour MBTH). La base de la méthode de Thieulin est donc le dosage des produits carbonylés de courte chaîne, notamment ces deux aldéhydes. Certes, la production des composés carbonylés n'est pas spécifique du processus d'irradiation; l'auto-oxydation des lipides, en particulier, est susceptible de les produire. De plus, d'autres aldéhydes, responsables des odeurs anormales, qui prennent naissance lors de l'irradiation de la viande avec des fortes doses ne semblent pas être en relation étroite avec les deux aldéhydes étudiées par les auteurs.

Les auteurs ont étendu leurs recherches au problème des additifs qui pourraient modifier la réaction. Ils ont trouvé que l'adjonction du borate de soude à raison de 2,5 g pour 100 g de viande estompait très fortement l'intensité de la réaction. Avec 10 ml de solution à 1 % de chinosol pour 100 g de viande, la réaction disparaît complètement ou du moins devient ininterprétable.

En conclusion des travaux cités ci-dessus, il semble que le dosage des aldéhydes à courte chaîne soit une des épreuves susceptibles de dépister une viande irradiée. Elle n'est pas spécifique, mais on pourrait augmenter considérablement sa fidélité en éliminant l'interférence avec le rancissement physiologique des graisses.

Il serait peut-être également utile de différencier l'aldéhyde malonique du glyoxal: ceci est réalisable par l'emploi des orthodiamines aromatiques qui donnent une réaction extrêmement sensible avec le glyoxal.

En ce qui concerne les additifs chimiques qui pourraient annihiler ou masquer la réaction, leur présence pourrait être mise en évidence par des réactions chimiques spécifiques.

H. Gaisch [17] se sert du dosage des aldéhydes pour identifier les œufs irradiés. Il utilise la réaction à la 2,4-dinitrophénylhydrazine, dont il détermine l'intensité à l'aide du colorimètre. Il affirme qu'il est possible de différencier les œufs irradiés des œufs non irradiés. En outre, ce dosage des aldéhydes permettrait d'évaluer la dose de l'irradiation utilisée.

2.8. Structure microscopique

R. Biebl et coll. [18] ont publié leurs observations faites sur les tubercules d'oignon rouge irradiées avec des rayons gamma. Comme indicateur de l'effet de l'irradiation, les auteurs ont utilisé les altérations cellulaires provoquées par le rayonnement et contrôlables sous le microscope. Notamment, les cellules de la pelure de l'oignon contiennent des vacuoles colorées par un pigment anthocyanique: cette coloration des vacuoles s'efface sous l'effet de l'irradiation et est en relation avec la dose. En outre, il signale l'apparition de phénomènes de plasmolyse qui seraient également très utiles pour différencier les cellules vivantes de celles qui sont mortes suite à l'irradiation et dont la proportion est fonction de la dose.

R. Zender et coll. [19] ont effectué des recherches fondamentales concernant l'origine des altérations microscopiques survenues dans la viande après irradiation. Ils affirment que la cause de ces modifications est l'autolyse musculaire dans laquelle les enzymes jouent un rôle important. Les enzymes ayant une plus grande résistance à l'irradiation que les bactéries, survivent même aux doses stérilisantes et amènent des altérations indésirables de la viande, qui sont en corrélation avec les modifications structurales des fibres musculaires.

Leur méthode d'analyse consiste en l'observation de la fibre musculaire à l'aide du microscope en contraste de phase. Ces examens permettent d'observer l'état de la paroi, du sarcolemme et des striations transversales. Les modifications constatées sont surtout des plissements, des contractions, des fractionnements transversaux ou longitudinaux. A l'intérieur de la fibre, on constate des bandes bombées ou granulées. L'examen microscopique permet, en outre, d'apprécier la turgescence, l'aplatissement et la flaccidité (mollesse). Certaines de ces modifications ne s'observent guère qu'après irradiation et leur fréquence augmenterait avec la dose

2.9. Immunologie

De nombreux auteurs ont signalé le changement survenu dans la molécule protéinique suite à l'irradiation. Cette altération entraîne la modification des caractéristiques immunologiques. D'un côté, c'est le phénomène de liaison anticorps-antigène qui s'est montré modifié, d'un autre côté la production des anticorps dans l'animal auquel on injecte l'antigène irradié, diffère de celle qui suit l'inoculation du même antigène, mais non irradié. Les analyses *in vivo* aussi bien que celles pratiquées *in vitro*, indiquent les altérations.

Les méthodes immunologiques ont été considérablement perfectionnées pendant la dernière décade et elles ont atteint un degré remarquable de sensibilité et de spécificité. Parmi ces méthodes, c'est l'immuno-précipitation en milieu gélosé qui se montre la plus prometteuse par sa sensibilité et sa grande simplicité. Pour illustrer la valeur de la méthode, nous citerons le fait qu'elle est en mesure de mettre en évidence la différence entre les caractères immunogéniques des organes de la même espèce.

Nous basant sur de telles considérations, nous estimons que la méthode mérite d'être prise en considération en vue de l'identification des aliments irradiés.

F. Hutchinson a mesuré l'intensité de la combinaison anticorps-antigène par l'épaisseur de la couche d'anticorps adsorbé par l'antigène. Il a trouvé une diminution

du pouvoir combinant de l'antigène irradié (représenté dans ses essais par de l'albumine de bœuf), par rapport à l'anticorps homologue.

La publication de Ch. A. Leone [14] représente une excellente mise au point de nos connaissances actuelles dans ce domaine. L'auteur présente et interprète les résultats des investigations relatives aux propriétés sérologiques, anaphylactogéniques et précipitogènes de l'albumine d'œuf irradiée, comparée à l'albumine d'œuf non traitée. L'irradiation par une dose dépassant 0,6 Mégarad produit une baisse exponentielle de la réactivité sérologique de l'albumine de l'œuf en solution sans perte de la fraction soluble à pH 7,0.

Il résulte du fractionnement thermique au point isoélectrique des protéines de la solution de l'albumine de l'œuf irradiée que

1. l'activité sérologique de la fraction soluble est plus faible que celle de l'albumine naturelle;

2. les protéines dénaturées par l'irradiation et devenues insolubles ont une activité antigénique plus faible que les protéines naturelles: néanmoins les antisérums préparés avec des protéines dénaturées par irradiation ne se montrent pas qualitativement différents des antisérums préparés avec les mêmes protéines non dénaturées.

Les protéines dénaturées par la chaleur ou par des produits chimiques donnent une réaction croisée avec les anti-séra préparés avec des protéines irradiées. Des essais réciproques avec les antisérums des protéines dénaturées par la chaleur ou par l'urée ont confirmé cette relation étroite entre les protéines dénaturées par différentes méthodes, y compris l'irradiation.

Quant à la capacité de l'albumine de l'œuf irradiée de provoquer le choc anaphylactique dans le cobaye sensibilisé précédemment par l'albumine non irradiée, elle est quasi perdue. La diminution est exponentielle si l'irradiation est réalisée sur l'albumine lyophilisée.

2.10. Microbiologie

- a) Plusieurs auteurs ont fait état de l'effet inhibiteur qu'exerçaient certains milieux irradiés sur la multiplication des bactéries.

Magnus et coll. signalent l'inhibition de la croissance de l'E. Coli cultivé sur un milieu dont l'agar-agar a été irradié. Stillwell et coll. ont constaté le même phénomène provoqué par les acides gras irradiés. Smiley a signalé que la lysine irradiée exerçait une action inhibitrice vis-à-vis de nombreux microorganismes: *Streptococcus bovis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus faecalis*, *Leuconostoo mesenteroïdes*, *Cl. sporogenes*, *Sarcina lutea* et *Saccharomyces cerevisiae*. Parmi les microorganismes gram négatifs, seul *Pseudomonas fluorescens* était sensible à l'action de la lysine irradiée. L'addition de la lysine non irradiée n'élimine pas l'action inhibitrice sur la croissance de la lysine irradiée. Toutefois, l'auteur n'a pas identifié la nature du ou des facteurs responsables de cette action inhibitrice.

H.I. Adler a attribué l'action inhibitrice vis-à-vis des E. Coli catalase négative à la présence d'un peroxyde produit dans le milieu par l'irradiation. S'inspirant de ces travaux, N. Molin et coll. [21] se sont servis d'une souche catalase positive de *pseudomonas*, qu'ils ont trouvé très sensible à l'action du glucose irradié. Par contre, une souche catalase négative de *lactobacillus arabinosus* s'est montrée résistante à cette action. Malgré cette

discordance, ils considèrent que les peroxydes jouent un rôle primordial dans l'action antibactérienne du glucose irradié.

A partir de ces recherches fondamentales, P. Dupuy [22] a essayé la méthode sur une denrée alimentaire, le lait, espérant qu'il soit un jour possible d'utiliser les techniques microbiologiques pour l'étude ou le contrôle des produits irradiés. Il a constaté que le lait irradié avec une dose supérieure à 0,4 Mégarad exerce un effet inhibiteur sur le lactobacillus. Il a également démontré que cet effet ne provient pas de la destruction des facteurs de croissance, mais qu'il est dû à la présence d'inhibiteurs engendrés par l'irradiation. Le phénomène a été précisé. En irradiant séparément et en mélange les diverses fractions du lait, l'auteur a constaté que l'inhibition se produit uniquement lorsque le sérum est irradié, d'où il a pu le concentrer en l'adsorbant sur charbon de bois. Mais la nature de ces substances ne fut pas identifiée.

b) La résistance des microorganismes à l'irradiation est une caractéristique de l'espèce et elle n'est pas en corrélation avec sa résistance à la chaleur. *Mycobacterium tuberculosis*, un des germes les plus résistants à la chaleur parmi les bactéries non sporulées, est très vulnérable à l'irradiation. Par contre, les *Salmonella* sont plus résistants que *E. Coli* tandis que les *Micrococcus* et les *Enterococcus* opposent à l'irradiation une résistance surprenante, de loin supérieure de ce qu'on attendrait de leur comportement vis-à-vis de la chaleur. Les levures et les formes filamenteuses des champignons sont également plus résistantes que toutes les bactéries non sporulées. En conclusion, on peut dire que la pasteurisation des denrées alimentaires par l'irradiation n'est pas comparable à la même procédure réalisée par la chaleur. L'étude des populations microbiennes ayant survécu à l'irradiation pourrait être une méthode d'analyse auxiliaire très précieuse. Toutefois, il s'agit d'un problème compliqué qui n'est pas encore suffisamment élaboré pour qu'il puisse être utilisé actuellement pour la vérification des aliments irradiés.

c) Nous avons nous-même recherché l'influence de l'irradiation de divers constituants du milieu de culture sur certaines souches de colibacilles lysogènes, pour lesquels une dose de 5 rad est déjà significative: nos résultats exécutés en comparaison avec des essais où nous faisons intervenir un puissant agent mutagène, l'ypérite azotée, se sont révélés négatifs et la technique ne peut être retenue.

2.11. Emballage

Nous n'avons pas pris en considération ici les indicateurs qui accompagnent l'emballage ou y sont incorporés pour permettre d'évaluer la dose atteinte par l'irradiation: le but de notre travail était de rechercher les méthodes et techniques utilisables pour dépister les irradiations non annoncées. Naturellement l'étiquetage et l'utilisation de tels indicateurs peuvent être précieux pour la surveillance des pratiques loyales: dans de tels cas, la recherche de l'irradiation antérieure n'a plus de sens. Néanmoins une telle pratique n'est pour toujours applicable notamment lorsqu'il s'agit de denrées en vrac (blé, pommes de terre, etc).

Dans ce paragraphe, nous nous sommes attachés à rechercher les méthodes qui permettraient d'estimer la dose reçue par le contenu par les effets de l'irradiation sur le contenant c'est-à-dire sur l'emballage.

Nous passerons rapidement en revue le comportement des principaux matériaux d'emballage utilisés dans la conservation des aliments.

2.11.1. *Le verre*

L'irradiation produit dans le verre de nombreux électrons libres qui sont capturés par des atomes avides d'électrons: apparaissent ainsi des points colorés qui se manifestent par un brunissement du verre. Ce brunissement apparaît déjà avec des doses relativement faibles de l'ordre de 0,01 Mégard et son intensité pour une qualité de verre donnée est en rapport avec la dose appliquée. Néanmoins le verre est rarement utilisé pour contenir les produits à irradier d'autant plus que les doses à appliquer modifient considérablement sa résistance.

2.11.2. *La cellulose*

L'irradiation de ce polymère naturel à structure cristalline et à poids moléculaire élevé entraîne une dépolymérisation, diminue son élasticité et sa résistance à la traction et augmente sa solubilité: ces altérations apparaissent nettement à partir de 0,1 Mégard.

2.11.3. *Les polymères organiques*

La littérature relative à l'étude de l'effet des radiations sur les propriétés des polymères organiques est très abondante (plusieurs milliers de publications) et notre but s'est limité à en extraire l'essentiel en rapport des altérations engendrées par l'irradiation.

L'irradiation beta ou gamma crée dans les polymères organiques la formation des radicaux libres, qui provoquent des ruptures ou des liaisons ou des recombinaisons dans les chaînes moléculaires. En même temps, de l'hydrogène ou d'autres produits chimiques peuvent apparaître. Enfin si l'irradiation est réalisée en présence de l'air, elle entraîne l'oxydation. Le résultat final est régi par la réaction prédominante qui dépend de la structure chimique du polymère, ainsi que des conditions environnantes.

Les altérations commencent aux environs de 0,5 Mégard. La sensibilité des principaux polymères dans l'ordre croissant est la suivante: polyamides, monochlorotrifluoréthylènes, polyvinylyles, polyesters, polyéthylènes, polystyrènes. Les altérations induites par des doses élevées sont très importantes. La liaison entre les chaînes augmente la résistance à la tension et au pliage, diminue l'élongation, la transparence et la solubilité. La fragmentation des chaînes entraîne la diminution de la résistance à la tension et au pliage.

Le rôle de l'oxygène n'est pas complètement élucidé, mais il est très important. Il est probable que les polymères, qui se prêtent facilement à la liaison entre les chaînes, subissent une diminution du poids moléculaire si la présence d'oxygène est considérable au cours de l'irradiation. Le comportement des feuilles de polyéthylène servant à l'emballage de nombreuses denrées alimentaires a été soigneusement étudié. Les travaux ont démontré que la perméabilité aux gaz et aux vapeurs d'eau des feuilles de polyéthylène n'est altérée ni par des rayons X de 60 à 150 KeV, ni par l'irradiation avec un flux d'électrons allant jusqu'à 100 Mégard. Par contre ces irradiations provoquent dans quelques polyéthylènes des changements d'odeur, dans d'autres, le noircissement: néanmoins les altérations survenues suite à l'irradiation avec des doses relativement peu élevées (0,5-5 Mégard), utilisées en général pour la stérilisation des aliments, sont imperceptibles et ne peuvent pas être constatées par une inspection sensorielle.

Pourtant les travaux de W. Schmidt-Lorenz et coll. [23] nous prouvent que les constantes optiques ainsi que la structure des feuilles de polyéthylène subit, pour des doses

peu élevées, des modifications caractéristiques, qu'on peut déceler avec des examens appropriés comme l'examen microscopique du relief des surfaces extérieure et intérieure des feuilles irradiées, après moulage par une solution de tylose KZO à 10 %: la solution épouse les aspérités de la superficie et après séchage y forme une fine pellicule qu'on peut détacher et examiner au microscope. Les feuilles de polyéthylène préparées par pression élevée ainsi que celles dénommées « Suprathem » présentent les mêmes altérations. Toutefois la localisation de ces altérations (surface externe de l'emballage ou surface interne en contact avec le produit) varie selon la nature des feuilles de polyéthylène et permet une différenciation.

L'image cristalline de la surface est un autre indice de l'irradiation. Son changement sur les deux surfaces est caractéristique pour les polyéthylènes, tandis qu'on ne le trouve changé que sur la surface interne dans le cas des feuilles « Suprathem ».

Une autre méthode de détection de l'effet de l'irradiation est la mesure d'adsorption de la lumière ordinaire et de l'infrarouge.

L'absorption de la lumière ordinaire de feuilles irradiées est augmentée, mais l'écart comparé aux valeurs normales n'est pas suffisant pour permettre une appréciation sans hésitation.

Par contre l'adsorption dans l'infrarouge est plus importante et permettrait de conclure à l'irradiation: en plus, elle offre la possibilité de pouvoir évaluer la dose utilisée entre 0,5 et 5 Mégard.

2.11.4. *Les métaux*

L'action des particules légères (rayons X, gamma et beta) utilisées pour l'irradiation des aliments, sur les métaux se limite aux processus d'ionisation, étant donné que ces particules légères n'ont pas la masse nécessaire pour transférer une quantité appréciable d'énergie au noyau. De plus, la grande mobilité des électrons des noyaux des métaux leur permet facilement de dissiper sous forme de chaleur l'énergie adsorbée par le métal au cours de l'irradiation. La chaleur dégagée par le récipient métallique est négligeable si l'on considère l'énergie et les doses envisagées pour l'irradiation des aliments.

C'est pourquoi l'effet de l'irradiation sur les propriétés physiques et mécaniques du métal est négligeable.

2.12. **Modification des caractères organoleptiques**

Nous savons que l'objectivation de ces modifications est souvent difficile mais nous pensons que nous ne pouvons les passer sous silence car elles peuvent être très utiles pour certaines orientations.

Par « changements organoleptiques », on entend toute modification de l'aliment décelable par l'examen sensoriel (couleur, odeur, goût, texture, turgescence, etc...).

Les changements des caractères organoleptiques suite à l'irradiation des aliments sont connus et ils représentaient, surtout dans les débuts de l'irradiation, l'obstacle majeur à l'emploi de ce nouveau traitement.

L'intensité des changements augmente avec les doses utilisées. De ce fait, ils sont les plus importants dans les aliments qui exigent des doses élevées en vue de leur con-

servation. C'est le cas par exemple de la viande, dans laquelle les altérations organoleptiques pourraient devenir perceptibles par une simple dégustation. Etant donné que l'examen sensoriel est très fortement influencé par plusieurs facteurs, notamment par la sensibilité individuelle, l'habitude et aussi par des facteurs psychiques, on obtient souvent des résultats assez discordants. Pour cette raison, on s'efforce de recourir à des mesures objectives, réalisées à l'aide d'appareils qui sont capables d'indiquer l'état d'un constituant essentiel dans le développement d'un des caractères organoleptiques d'un aliment.

Une autre faiblesse de l'examen organoleptique, en dehors de sa subjectivité, est sa sensibilité peu élevée. En effet, un tel examen n'indique que les modifications importantes, provoquées par des doses élevées. Pour citer un exemple, nous signalerons qu'il est possible de reconnaître une viande irradiée avec plusieurs Mégarad, tandis qu'il est presque impossible de différencier la pomme de terre non traitée de celle irradiée avec 0,01 Mégarad.

Pour mettre en évidence des changements peu importants, nous devons recourir à des méthodes de laboratoire plus sensibles qui nous indiqueraient des altérations physico-chimiques peu profondes de l'aliment.

La séparation entre les 2 catégories des mesures (celles destinées à remplacer l'examen sensoriel dans la recherche des changements organoleptiques et celles visant à détecter les modifications moins grossières) n'est pas nette et certains rejoignent certaines techniques physiques. Mais pour des raisons de clarté, nous les traiterons ensemble dans ce chapitre consacré aux changements organoleptiques et dans lequel nous passerons successivement en revue.

2.12.1. *La couleur*

Le comparateur de couleur de Hunter est très répandu au U.S.A. L'appareil est muni d'une échelle de couleur appropriée pour les divers aliments et permet une mesure objective de la couleur de l'échantillon.

L.A. Whitehair et coll. [24] se sont servis de cet appareil pour déterminer la modification de couleur de la viande de porc irradiée. Ils constatent que la valeur de « L » (luminosité) est plus élevée dans l'échantillon irradié que dans le contrôle. La valeur de « aL » (couleur rougeâtre) est très élevée après l'irradiation. Les mesures exécutées au cours de la période d'entreposage (210 jours) indiquent une augmentation de cette altération. L'appréciation de la couleur jaune « bL » par contre n'indique pas de différence significative entre les 2 échantillons. On peut donc aboutir à des formules où interviennent aL et bL qui permettent d'estimer la modification et d'identifier une viande irradiée. Cette identification à l'aide du comparateur de couleur serait très aisée si on n'avait pas trouvé le moyen d'annihiler le développement excessif de la couleur rougeâtre! Helen L. Hanson et coll. [25], étudiant ce problème afin d'y remédier, ont trouvé qu'on peut enrayer le développement de la couleur rougeâtre de la viande de poulet irradiée, laquelle survient au cours de la conservation lorsqu'elle est enclose dans un sachet de cellophane en présence d'azote: il s'agit simplement d'appliquer un traitement de préchauffage.

E.E. Burns et coll. [26] ont examiné l'influence de l'irradiation bêta aux doses de 0,5 à 1,5 Mégarad sur la maturation de la tomate. L'irradiation empêche le développement de la couleur rouge de la tomate en inhibant la formation du phytofluène, du gamma carotène et du lycopène, tandis que le bêta carotène continue à être formé.

La mesure objective de la couleur fut réalisée à l'aide du comparateur de Hunter utilisant des étalons pour tomate. Simultanément la teneur des différents pigments cités précédemment fut déterminée périodiquement par chromatographie et par spectrophotométrie suivant les méthodes décrites par Zscheille et Porter et modifiée par Rabourn.

Le dosage répété et la courbe de développement de ces pigments seraient significatifs. Une teneur normale en bêta carotène coïncidant avec des valeurs inférieures à la normale en lycopène et phytofluène indiqueraient que la tomate a été irradiée.

2.12.2. *Le goût*

Aucun appareil permettant une mesure objective n'existe jusqu'à présent. Ainsi l'appréciation de ce caractère organoleptique dépend-elle exclusivement de l'examen sensoriel par la dégustation.

2.12.3. *L'odeur*

La situation est la même que pour le goût. Toutefois l'analyse des composants volatils des aliments devrait permettre une plus grande objectivité. A défaut des méthodes plus simples, la chromatographie en phase gazeuse pourrait donner des résultats précis.

2.12.4. *La texture*

1. *Exsudation*

En dépit de prétraitement par la chaleur pour détruire les enzymes autolysants, la viande irradiée exsude une plus grande quantité de liquide que la viande non traitée. L'évaluation de ce phénomène peu éclairci pourrait être utile dans l'identification des viandes irradiées.

2. *Quantité de liquide obtenu par compression*

L.A. Whitehair et coll. ont utilisé la méthode de Grau et Hamm. Le pourcentage est calculé suivant la formule de Briskey. Il y a rapport inverse entre l'exsudation et la quantité de liquide obtenu par compression: par pression on obtient moins de liquide de la viande irradiée que de la viande normale.

3. *Tendreté*

L.A. Whitehair et coll. se servent de la méthode décrite par Palmer et Emerson, dont le principe est le suivant: on enregistre le courant électrique (quantité d'énergie) nécessaire pour broyer l'échantillon de volume déterminé et prélevé dans des conditions précises.

Cette méthode n'a pas démontré une différence appréciable entre la viande de porc irradiée et non irradiée. Par contre les mesures obtenues avec l'appareil de Warner et Bratzler dont le principe est la résistance au cisaillement, ont indiqué que la viande de porc irradiée est plus tendre que le contrôle.

4. *Elasticité et raccourcissement*

A.J. Bailey et coll. [27] ont mesuré le raccourcissement et l'élasticité des fibres de collagène du tendon.

L'élasticité des fibres de 0,2-0,3 mm de diamètre est déterminée dans l'eau physiologique à l'aide d'un kymographe. L'irradiation augmente l'élasticité des fibres de collagène. (Ceci provient partiellement du fait que les fibres du collagène irradié sont tortillées).

Pour la détermination du raccourcissement thermique, les fibres sont suspendues dans l'eau physiologique sous un poids de 50 mg. On augmente la température du bain jusqu'à ce qu'on enregistre le raccourcissement des fibres. L'irradiation diminue considérablement la température nécessaire pour le raccourcissement du collagène. Il y a corrélation entre la dose d'irradiation et l'abaissement de la température nécessaire. Ainsi, tandis que les fibres non irradiées se raccourcissent à 61 °C, ceci survient déjà à 47 °C en cas d'irradiation par 5 Mégarad, à 20 Mégarad, c'est à 33 °C et à 40 Mégarad à 27 °C qu'on enregistre le raccourcissement.

Ces mesures pourraient être adoptées pour l'identification de la fibre musculaire irradiée comme l'indiquent R. Zender et coll.

5. *Viscosité et résistance à l'écrasement*

Z.I. Kertesz et coll. [28] ont étudié les modifications de la pectine et de la cellulose dans la pomme, la carotte et la betterave irradiées par des rayons gamma.

Leurs méthodes d'analyse sont:

a) la mesure de la résistance à l'écrasement des cylindres de fruits ou de légumes réalisée à l'aide du dispositif de Glegg.

b) le dosage et l'étude de la viscosité de la pectine et de la cellulose, obtenues par extraction fractionnée.

Ils concluent de leurs expériences que, dans la pomme, la dégradation de la pectine et de la cellulose apparaît simultanément aux doses qui provoquent le ramollissement des fruits ($\pm 0,035$ Mégarad). Ces modifications s'accroissent avec l'augmentation de la dose d'irradiation. La dégradation de la pectine est démontrée par la diminution de la viscosité dans les fractions d'extractions, par la perte de viscosité spécifique calculée par rapport à la teneur en uronide et en pectate de Calcium et aussi par le changement du rapport pectine soluble/pectine insoluble. L'altération de la cellulose est caractérisée par la diminution de la viscosité de l'extrait en rapport à la solution étalon de cellulose.

La carotte présente des modifications du même type, tandis que le ramollissement des betteraves ne semble pas être accompagné de pareilles modifications tant pour la pectine que pour la cellulose.

3. COMMENTAIRES SUR LES METHODES

La nécessité de l'identification des aliments irradiés provient du fait que les preuves de leur innocuité pour une consommation courante ne sont pas indiscutées ni universellement admises.

Nous avons déjà évoqué cette question au début de ce rapport mais nous ne pensons pas inutile à ce moment de rappeler que les avis sont partagés en deux groupes.

Le premier groupe réunit les opinions favorables basées essentiellement sur des expériences nutritionnelles sur des animaux d'expérience et sur des hommes: celles-ci ont pour la plupart abouti à la conclusion qu'il n'y avait pas de conséquences pathologiques directement liées au fait que la nourriture avait été irradiée.

Le deuxième comprend les opinions des prudents et des sceptiques. Les prudents estiment que les essais d'alimentation réalisés jusqu'ici ne sont pas complets et qu'ils ont généralement été conduits de manière trop globale: ils préconisent de nouveaux essais d'alimentation à long terme conduits d'une manière normalisée. Les sceptiques vont plus loin. Ils considèrent que les effets provenant de la consommation des aliments irradiés étant minimales, les expériences d'alimentation ont peu de chance de les mettre en évidence. Pour cette raison, ils recommandent, en dehors des essais faits sur des animaux de laboratoire, des recherches plus approfondies, dites fondamentales sur des êtres unicellulaires et sur des cellules humaines. Ils suggèrent d'étendre leurs observations sur le métabolisme et les caractères génétiques de leur matériel d'expérience. Ils insistent également sur les aspects microbiologiques du problème (anaérobies toxigènes, sélection par mutation).

Quelques-unes de ces recherches sont en cours, mais beaucoup sont encore dans l'état de projet.

Néanmoins, malgré l'incertitude qui règne dans le milieu scientifique, quelques pays ont pris position et ont donné l'autorisation pour la vente à la consommation des denrées alimentaires irradiées. Les autres pays, qui ne partagent pas actuellement ce point de vue, prennent une position d'attente négative: c'est-à-dire qu'ils s'opposent jusqu'à plus ample informé à la consommation de denrées irradiées même par les animaux devant servir à la nourriture de l'homme.

Par ailleurs, les autorisations délivrées dans les pays qui permettent la mise en vente de denrées irradiées sont spécifiques c'est-à-dire qu'elles précisent la denrée intéressée, le but recherché, la dose à utiliser et les conditions d'administration.

Enfin, il est certain que par le truchement du commerce international des aliments, des denrées irradiées peuvent apparaître sur le marché local bien que les autorités n'autorisent pas pareil traitement.

Ces diverses raisons expliquent pourquoi les services techniques chargés d'éclairer les autorités sanitaires doivent rechercher les procédés pratiques permettant d'orienter l'identification des denrées irradiées, de confirmer cette identification et de déterminer si possible la dose d'irradiation à laquelle l'aliment a été soumis. La mise au point de tels procédés est loin d'être opposée au développement des techniques d'irradiation des denrées: elles ne peuvent que favoriser celles qui s'avèreront acceptables pour la santé publique compte tenu de leurs avantages et de leurs désavantages à l'égard des autres procédés et compte tenu de l'aide précieuse qu'apportera un étiquetage loyal annonçant l'irradiation, le processus et la dose utilisés.

Ces procédés d'identification peuvent s'inspirer des éléments que nous possédons déjà et que nous avons énumérés au chapitre précédent: ils peuvent être basés sur des méthodes physiques, chimiques ou biologiques.

Pour être utilisables de tels procédés doivent répondre aux critères suivants:

a) le nombre d'échantillons soumis à l'analyse pouvant être élevé, il faut autant que possible des méthodes simples et rapides;

b) les délais d'utilisation de certains aliments et les difficultés d'entreposage pour certaines denrées imposent des procédures expérimentales capables de donner la réponse dans un délai raisonnable;

c) l'analyse ne peut pas être trop coûteuse et elle devrait pouvoir être exécutée dans un laboratoire doté d'un équipement non hautement spécialisé et d'un personnel normalement qualifié;

d) la méthode devrait mettre en évidence des modifications spécifiques de l'irradiation et en fonction des doses appliquées en pratique;

e) la méthode devrait autant que possible être universelle et éventuellement applicable à toute la gamme des denrées alimentaires susceptibles d'être irradiées.

Nous allons, en fonction de ces critères, des informations bibliographiques recueillies et précédemment énumérées et de certains renseignements acquis par des contacts scientifiques personnels et de certains essais personnels, passer en revue les procédés que l'on pourrait envisager.

Mesure de l'état paramagnétique de l'atome:

Elle est basée sur la modification d'un composant ubiquitaire, l'atome. Par conséquent, c'est une méthode universelle puisque théoriquement elle pourrait être utilisée pour tous les aliments. A côté de ses avantages incontestables, elle exige un personnel hautement spécialisé et un matériel très coûteux et délicat. Son grand désavantage pourtant provient du fait que les tissus normaux contiennent des atomes qui donnent le signal ESR, c'est-à-dire qu'une mesure quantitative serait toujours sujette à caution. L'ESR ne pourrait devenir spécifique qu'au cas où on pourrait s'en servir pour identifier des composants créés uniquement par l'irradiation. Or, dans l'état actuel des recherches, nous n'avons pas de données précises sur cet aspect du problème: la méthode n'a pas encore été suffisamment explorée dans le domaine des aliments. Pourtant les essais connus ne sont pas tellement encourageants et si la mesure de l'ESR démontre l'apparition de radicaux libres sous l'influence de l'irradiation, on constate également que les résultats varient avec les conditions extérieures accompagnant l'irradiation et la conservation de la denrée.

Electrophorèse:

Elle met en évidence les changements survenus dans les molécules protéiniques. Elle n'est pas universelle, mais elle pourrait être avantageusement exploitée pour les aliments ayant une teneur élevée en protéines. Elle n'exige que du matériel de laboratoire courant et une spécialisation qu'un personnel de formation biologique générale peut acquérir avec un entraînement d'une durée raisonnable. On obtient le résultat d'analyse dans les limites de temps admissibles. La méthode a les inconvénients que les altérations mesurables ne surviennent qu'aux doses élevées et qu'elles ne sont pas spécifiques de l'irradiation: des études comparatives sont indispensables pour pouvoir juger si les altérations observées sont bien dues à l'irradiation antérieure.

A notre avis, l'analyse électrophorétique ne pourrait servir que comme confirmation supplémentaire d'un traitement par irradiation.

Potentiel d'oxydo-réduction :

L'idée de mesurer le potentiel d'oxydo-réduction provient, de l'effet ionisant des radiations utilisées pour la conservation des aliments. Il est même surprenant qu'elle n'ait été utilisée que par un seul auteur et uniquement pour la viande et le poisson. Pourtant la méthode a de nombreux avantages, notamment sa simplicité et sa rapidité: un personnel ayant une formation chimique générale est capable de l'exécuter en série avec du matériel faisant partie de l'équipement habituel de laboratoire.

Son désavantage est qu'elle dépend d'autres facteurs comme l'action enzymatique ou microbiologique; elle n'est pas spécifique. Pourtant, nous sommes d'avis qu'elle mérite davantage l'attention et qu'elle pourrait devenir une méthode auxiliaire de valeur, ne fut-ce que pour un nombre limité d'aliments (comme le poisson par exemple où les résultats sont encourageants).

Polarographie

Quoique la mesure en elle-même soit relativement simple et rapide, les extractions et les concentrations qui doivent être réalisées au préalable sont longues et laborieuses. La méthode vise à doser les substances créées par l'irradiation, lesquelles peuvent être caractéristiques sans être spécifiques. Elle exige du personnel spécialisé et du matériel adéquat, mais ne sortant pas du cadre habituel d'un laboratoire de physico-chimie.

Spectrophotométrie

L'absorption dans le spectre visible et dans l'ultra-violet est caractéristique et bien connue pour de nombreux composants des aliments: c'est une des méthodes les mieux explorées aux fins de l'identification des aliments irradiés. Les chercheurs ont déterminé la modification des constantes relatives aux composants importants de plusieurs aliments irradiés, à savoir les fruits et les jus de fruits, la farine, la poudre d'œufs. Les composants étudiés sont les glucides, les lipides ou les protides.

La méthode présente l'avantage de faire partie des analyses habituelles de laboratoire: elle ne demande ni du personnel ni du matériel extraordinaires.

Elle est d'exécution assez rapide, quoique les extractions préliminaires soient laborieuses et assez lentes. Elle est relativement précise.

Néanmoins, les travaux réalisés jusqu'à présent n'apportent pas la preuve de sa spécificité pour le dépistage de l'irradiation: il est à craindre en outre qu'elle ne laisse passer inaperçues les modifications engendrées par des doses peu élevées.

C'est toutefois une méthode d'appoint précieuse qui pourrait être appliquée sur une gamme très étendue des aliments à la condition que l'on dispose d'échantillons comparatifs.

Chromatographie

L'extraction fractionnée suivie de l'analyse chromatographique permet de réaliser la séparation et l'évaluation des produits de dégradation des composants organiques des aliments.

La méthode a le grand avantage d'être utilisée d'une façon courante dans de nombreux laboratoires. Elle pourrait s'appliquer à de nombreux aliments. Par contre, elle est assez lente et laborieuse et elle ne peut pas réclamer le privilège de la spécificité.

A notre avis, la chromatographie pourrait servir d'analyse complémentaire.

La chromatographie en phase gazeuse pourrait avoir une importance toute particulière: ses possibilités n'ont pas été assez explorées. Les modifications d'odeur et de goût pourraient être objectivées par cette technique et il n'est pas impossible que de telles recherches réservent d'utiles surprises.

Colorimétrie

L'irradiation des aliments entraîne l'augmentation des produits carbonylés de courte chaîne. Leur dosage a inspiré l'évaluation colorimétrique de la réaction avec certains réactifs comme l'ATB ou le MBTH.

Ce dosage n'a rien de particulièrement spécifique, car les substances qui donnent naissance à la réaction, sont présentes, dans une quantité moindre, dans les aliments non irradiés.

La colorimétrie pourrait nous rendre néanmoins de réels services par sa simplicité et sa rapidité d'exécution comme technique accessoire.

Structure microscopique

L'examen microscopique des cellules de la pelure des tubercules d'oignon nous inspire peu de confiance. Son auteur suggère la survie des cellules comme critère de l'effet de l'irradiation. Or, il est connu que la pelure de l'oignon contient normalement aussi beaucoup de cellules mortes.

La méthode présenterait de nombreux avantages si elle s'avérait confirmée par des recherches ultérieures et si elle était mieux codifiée. Elle est la seule analyse élaborée actuellement applicable pour l'identification de l'oignon irradié.

L'examen microscopique des fibres du muscle strié révèle des altérations qui ne sont pas provoquées par l'irradiation, mais qui sont dues à l'autolyse musculaire normale et dans laquelle les enzymes cellulaires jouent un rôle prépondérant. Les doses d'irradiation, utilisées pour la conservation de la viande, n'annihilent pas l'action de ces enzymes qui peuvent développer leur action après l'irradiation et produire des altérations bien connues. Deux procédés sont disponibles actuellement pour enrayer l'autolyse, à savoir: le préchauffage avant l'irradiation et le traitement in vivo par l'adrénaline. Nous n'avons pas trouvé d'indications relatives aux altérations microscopiques dues au préchauffage de la viande: à notre avis, d'après quelques essais, elles ressemblent fort à l'image de la viande traitée par la chaleur en vue de la conservation. Dans ce cas l'examen microscopique n'est pas apte à démontrer l'irradiation ultérieure. En ce qui concerne le traitement par l'adrénaline, il en résulte une bonne conservation de la structure microscopique de la fibre musculaire: une étude de la combinaison de l'action de l'adrénaline avant l'abattage et de l'irradiation serait utile.

A notre avis, l'examen microscopique de la viande ne peut jouer qu'un rôle très auxiliaire dans l'identification des aliments irradiés.

Immunologie

La lenteur du procédé de l'examen du pouvoir anaphylactogène d'un aliment l'exclut de la liste des analyses. Les réactions sérologiques sont si peu caractéristiques qu'elles peuvent, dès à présent, être considérées comme très peu utiles dans l'identification des aliments irradiés.

Microbiologie

Les examens microbiologiques, dans l'état actuel des recherches, ne sont pas d'un grand secours dans l'identification. Ils auraient peut être une certaine valeur pour le lait, mais des méthodes plus précises et en même temps plus aisées applicables à cette denrée sont à notre disposition (spectrométrie, colorimétrie, examen organoleptique).

Emballage

L'examen microscopique des sacs en polyéthylène est une méthode d'identification très prometteuse pour les denrées alimentaires qui y sont emballées. Il est rapide, simple et se base sur des altérations caractéristiques.

Parmi les autres matières d'emballage, le verre présenterait des modifications typiques, mais il est peu probable que des aliments soient irradiés en vue de leur conservation après leur mise en flacons de verre.

Mesure objective des changements organoleptiques

Nous sommes d'avis que ces méthodes mériteraient de retenir davantage l'attention des chercheurs. Considérées comme trop simples ou trop subjectives, elles ont été négligées. Or, leur simplicité et leur rapidité représentent des avantages incontestables. Ces méthodes ne peuvent prétendre résoudre les problèmes fondamentaux, mais bien exécutées et correctement interprétées, elles peuvent rendre de précieux services, au moins pour l'orientation préliminaire encore que certaines modifications organoleptiques puissent être liées à certaines altérations spécifiques.

Malheureusement nous manquons souvent de méthodes pour rendre objectives nos appréciations subjectives: c'est notamment le cas pour le goût et pour l'odeur encore qu'il soit possible que la chromatographie en phase gazeuse ouvre la voie à certaines réalisations. Par contre, nous possédons déjà certaines mesures objectives en ce qui concerne la couleur (colorimétrie comparative) d'une part et la texture (coefficient d'exsudation, coefficient d'extraction liquidienne par compression, tendreté, élasticité, viscosité, résistance à l'écrasement) d'autre part.

* * *

Le bilan n'est pas entièrement négatif. Pour certaines denrées, il serait possible par certaines techniques, éventuellement utilisées concomitamment, de conclure à la probabilité d'une irradiation antérieure. Nous disons probabilité car aucune modification n'est réellement spécifique, à part peut être jusqu'à un certain point les modifications de l'état paramagnétique.

Cette absence de spécificité peut être compensée jusqu'à un certain point par la comparaison des résultats obtenus avec la denrée irradiée et ceux obtenus avec un témoin non irradié: néanmoins, pour la plupart des techniques il manque des informations au sujet des modifications observées dans la denrée conservée par des procédés autres que l'irradiation.

Deux autres remarques importantes méritent d'être soulignées:

1. aucune des méthodes, à part les modifications spectrophotométriques dans les jus de fruits, n'a pris en considération l'évolution des modifications au cours de la conservation de la denrée; il est pourtant évident qu'une méthode pour être valable doit pouvoir être applicable à la denrée pendant le temps de conservation habituelle:

2. certains résultats prometteurs ont été obtenus par certaines méthodes mais cela ne vaut que lorsque les doses d'irradiation sont considérables: pour les doses d'irradiation faibles comme celle utilisée pour inhiber la germination des pommes de terre ou pour désinsectiser les grains et même pour celles employées pour la pasteurisation, les résultats sont médiocres sinon nuls.

4. SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS

La revue des diverses techniques éventuellement applicables à l'identification des denrées alimentaires irradiées est à la fois décevante et encourageante:

elle est décevante parce que jusqu'à présent aucune méthode ne répond aux critères de maniabilité, de spécificité et d'universalité que l'on pouvait espérer et parce que l'évolution dans le temps des phénomènes caractéristiques éventuels n'a pas été étudiée:

elle est encourageante parce que le problème n'a pas été abordé de façon systématique et parce que bien souvent les données que nous avons relevées apparaissent, dans des travaux réalisés dans un but différent: on peut donc espérer qu'un abord plus méthodique du problème permettra d'aboutir aux résultats escomptés.

Nous devons ajouter qu'au cours de l'étude de la littérature, nous avons été frappés du manque fréquent d'informations à propos du retentissement des procédés autres que l'irradiation, sur l'innocuité et la qualité de l'aliment et sur les possibilités éventuelles de l'identification du traitement subi.

Comment aborder le problème à l'avenir?

Nous pensons qu'il est bon d'abord de rappeler dans le tableau quelles sont actuellement les principales indications éventuelles du traitement par irradiation et les doses utilisées.

Nous constatons que les doses vont de 0,008 à 6 Mégarad, suivant que l'on veuille ralentir la germination, désinsectiser, modifier la maturation, désinfester une viande parasitée, modifier les qualités d'une farine, pasteuriser du poisson, du jus de fruits ou des œufs, désinfecter des épices ou stériliser de la viande ou du poisson.

Si nous établissons trois catégories de denrées suivant la dose, nous observons grosso modo que:

de 0,01 à 0,2 Mégard, ce sont les pommes de terre, les légumes à bulbe (oignons, etc.) et les céréales qui sont surtout intéressées, accessoirement la viande parasitée et les légumes et fruits frais;

de 0,2 à 1 Mégard, ce sont les œufs liquides, les poudres d'œufs, le poisson qui sont intéressés;

de 2 à 6 Mégard, ce sont surtout les préparations carnées qui sont visées,

Ce classement pragmatique a pour but d'orienter les recherches vers le but le plus immédiatement important et de tenir compte de l'ampleur des modifications éventuellement produites.

Par ailleurs, nous devons tenir compte des denrées qui ont le plus de raison de leur voir appliqué et toléré un traitement par irradiation: ce sont, à notre avis, les pommes de terre (inhibition de la germination), les céréales (désinsectisation), les œufs liquides ou en poudre, le poisson. En effet, en face de difficultés techniques possibles d'une part et des risques éventuels tant toxicologiques que microbiologiques et nutritionnels possibles d'autre part, ces traitements ont des avantages:

pour la pomme de terre, meilleure conservation et non recours aux pesticides comme l'I.P.C. ou le chlor. I.P.C.:

pour les céréales, réduction considérable des pertes et possibilités de nourrir plus de monde;

pour les œufs liquides ou en poudre, élimination des salmonella;

pour le poisson, conservation prolongée et transport à distance pour distribuer des protides à des populations carencées.

C'est pourquoi nous estimons que les efforts doivent viser d'abord ces denrées: notre point de vue se trouve par ailleurs étayé par le fait qu'il s'agit d'aliments intervenant pour une part importante dans l'alimentation humaine. Cela ne veut naturellement pas dire que les autres aliments doivent être négligés, comme la viande ou le lait et que de nouvelles techniques ne puissent être préconisées qui fassent éventuellement appel à l'action combinée de plusieurs procédés de conservation (préchauffage suivi d'irradiation, irradiation suivie de conservation à basse température, dessiccation suivie d'irradiation, etc.).

Si nous reprenons en fonction des techniques de dépistage au moins partiellement explorées les principaux aliments que nous venons d'énumérer, nous constatons:

a) pour la pomme de terre, nous n'avons pratiquement rien, à part peut-être certaines modifications organoleptiques;

b) pour les céréales désinsectisées par irradiation nous n'avons non plus pratiquement rien;

c) pour les œufs, la spectrométrie et la chromatographie donnent des espoirs;

d) pour le poisson et également pour la viande, les variations du potentiel redox méritent de retenir l'attention ainsi que certaines modifications objectivables des caractères organoleptiques et la recherche de certaines aldéhydes.

Il est certain que pour toutes les denrées, la mesure des variations de l'état paramagnétique peut donner des informations surtout si l'on a des témoins mais la méthode,

TABLEAU DES PRINCIPALES APPLICATIONS ACTUELLEMENT POSSIBLES DES RADIATIONS IONISANTES
DANS LE TRAITEMENT DES DENREES ALIMENTAIRES

TABLEAU I

<i>Doses (en Mégarad)</i>	<i>Denrées</i>	<i>But technologique</i>	<i>Objectif visé</i>
(a) 4-6	<i>Viandes, volailles, poissons et autres aliments hautement périssables.</i>	Conservation à long terme sans réfrigération.	Destruction des microorganismes saprophytes ou pathogènes présents y compris <i>Clostridium botulinum</i> .
(b) 1-3	Epices et autres ingrédients spéciaux.	Eviter la contamination des nourritures auxquelles les épices et ingrédients sont ajoutés.	Réduction de la population microbienne avec destruction des pathogènes.
(c) 0,3-1,0	<i>Poissons, viandes, volailles.</i>	Prolongation du temps de conservation à basse température (en dessous de 3°).	Réduction du nombre de microorganismes capables de se multiplier en dessous de 3°.
(d) 0,3-0,1	<i>Œufs liquides et œufs en poudre, viandes congelées, volailles et autres aliments susceptibles d'être contaminés par des microorganismes pathogènes.</i>	Prévention des intoxications alimentaires.	Destruction des salmonella.
(e) 0,1-0,5	<i>Fruits et légumes (irradiation superficielle).</i>	Amélioration de la qualité.	Réduction du nombre de moisissures et de levures. Modification du délai de maturation.
(f) 0,01-0,03	Viandes et autres aliments contaminés par des <i>parasites pathogènes</i> .	Prévention des maladies parasitaires transmises par des aliments.	Destruction des parasites comme <i>Trichinella spiralis</i> et <i>Tænia saginata</i> .
(g) 0,01-0,05	<i>Céréales, farines, fruits frais et desséchés et autres aliments infestés par des insectes.</i>	Prévention de la perte de denrées et de la dispersion des insectes.	Destruction ou stérilisation des insectes.
(h) 0,008-0,015	<i>Tubercules (pommes de terre) et bulbes (oignons).</i>	Augmentation de la durée de conservation.	Inhibition de la germination.

si elle est élégante, est pratiquement inaccessible pour une application courante: de plus, les modifications observées se comportent différemment dans le temps suivant la durée et le mode de conservation.

Il est donc indispensable, en pratique, de chercher des procédés plus aisés: il nous apparaît important d'orienter les chercheurs vers des procédés ne réclamant pas une spécialisation outrancière et un appareillage exceptionnel.

Les faits déjà acquis nous poussent à recommander de tenir compte en particulier des techniques suivantes qui sont prometteuses pour les produits irradiés à des doses élevées et qui pourraient éventuellement être perfectionnées pour les produits irradiés à doses relativement faibles:

la spectrométrie, la chromatographie, l'électrophorèse, les modifications du rH et le dosage de certains aldéhydes ou peroxydes.

Nous pensons également que l'examen histologique puisse être éventuellement utile pour les légumes et les fruits, notamment ceux traités par irradiation superficielle grâce à des accélérateurs d'électrons; nous pensons également que pour les pommes de terre, les fruits et les légumes, certaines modifications des processus exzymatiques naturels devraient être étudiées.

L'objectivation des constatations organoleptiques peut également permettre des orientations précieuses: nous pensons entr'autres que la chromatographie en phase gazeuse peut donner plus que la traduction objective de certaines altérations du goût et de l'odeur.

Quelle que soit la méthode utilisée dans de futures recherches, nous insistons pour que ne soient jamais négligées trois considérations que nous avons déjà évoquées:

a) l'information sur l'éventualité d'une irradiation de la denrée doit être qualitative et, si possible, quantitative: c'est-à-dire qu'elle doit permettre d'identifier et, si possible, de savoir la dose d'irradiation qui a été utilisée;

b) les résultats doivent provenir d'essais menés parallèlement sur des produits irradiés, sur des produits non traités et sur des produits conservés par d'autres procédés;

c) les essais doivent être étendus dans le temps, au moins aussi longtemps que dure la conservation habituelle des denrées en question avant leur consommation, pour se rendre compte si les modifications éventuellement constatées se maintiennent, s'accroissent ou disparaissent.

Ces recherches ne doivent pas faire négliger certaines méthodes indirectes.

La plus simple est naturellement l'introduction d'un témoin d'irradiation: cela suppose naturellement que cette méthode soit applicable à la denrée envisagée (elle n'est pas aisément utilisable pour les pommes de terre ou les céréales) et qu'il y ait loyauté commerciale sur le plan national et sur le plan international.

Une seconde méthode serait d'obliger à l'utilisation d'un matériel d'emballage dont les altérations sous l'influence de l'irradiation sont caractéristiques et proportionnelles à la dose: l'ensachage dans des feuilles de polyéthylène est un exemple d'une telle méthode. Sans être universellement applicable, ce mode d'approche du problème ne doit pas être négligé.

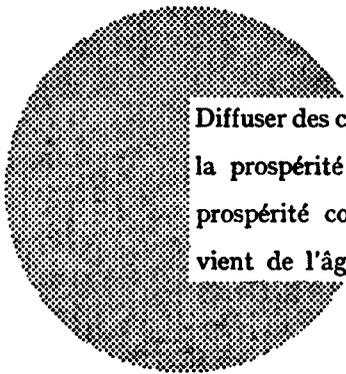
Nous terminerons en manifestant un certain optimisme malgré les difficultés indiscutables: elles ne sont pas à notre avis insurmontables. Nous ajouterons que les recherches

que nous suggérons n'auront pas de l'intérêt uniquement pour le dépistage et le contrôle des denrées irradiées; elles peuvent apporter d'importantes informations sur la qualité nutritionnelle des produits, sur leur innocuité et sur leur comestibilité: elles peuvent donner des renseignements fort utiles pour la technologie et, enfin, elles peuvent éclairer d'un aspect inattendu les modifications qui surviennent éventuellement dans les denrées conservées par d'autres procédés dits classiques et qui n'ont été que trop rarement recherchées jusqu'à présent.

5. REFERENCES

- [1] D.J.E. Ingram: *Spectroscopy at Radio and Microwave Frequencies*, p. 332, Butterworths, London 1955.
- [2] W. Low: *Paramagnetic Resonance in Solids*, p. 212, Academic Press, New York, 1960.
- [3] J.L. Ternberg; B. Commoner: «Clinical Application of Electron Spin Resonance», *J. Am. Med. Ass.* 183: 339-342; 1963.
- [4] H. Lueck; C.U. Deffner; R. Kohn: «Einwirkung Strahlen auf Fette». V. Mitteilung: *Radikalbildung. Fette, Seifen, Anstrichmittel* 66: 219-256, 1964.
- [5] W.N. Bradsnaw, F.K. Truby: *Detection of Radiation Induced Free Radicals by paramagnetic Resonance*. O.T. 3/U.S. Dept. of Commerce 154.306, 1959.
- [6] F.K. Truby, J.P. O'Meara, T.M. Shaw: *Detection of Radiation Induced Free Radicals by paramagnetic Resonance*. O.T. 3/U.S. Dept. of Commerce 131.966 - Special Order 565, 1957.
- [7] A.R. Deschreider, R. Meaux: *Répercussion des radiations ionisantes sur la poudre d'œufs*. Conf. du 15 avril 1964 à la Soc. d'experts chimistes de France. Sous presse: *Ann. Fals. et de l'Exp. chim.*
- [8] A. Caputo: «Su talune caratteristiche chimico-fisiche e fisiche della siercoalbumina irradiata». *G. di Biochimica* 5: 528-541, 1956.
- [9] W. Schmidt-Lorenz: «Redoxpotentialmessungen in bestrahlten Lebensmitteln». *Naturwissenschaften* 47: 208-209, 1960.
- [10] Tetsujiro Obara, Yasokichi Ogasawara: «Polarographic Studies on the storage of meat. The influence of gamma irradiation on beef». *Nippon Nôgei-Kagaku Kaischi* 34: 208, 319, 323, 397, 795, 1960.
M. Doguchi: «The polarographic Studies on gamma irradiated wheat gluten». *J. Chem. Soc. Jap. Ind. Chem.* 65: 1837, 1962.
- [11] Th. Tuchscheerer: «Erfahrungen bei physikalischen und technologischen Untersuchungen an bestrahlten Früchten und Fruchtsäften». *Atompraxis*, 8: Heft 12 Dezember 1962.
- [12] Th. Tuchscheerer: «Charakteristika hitze- und strahlungsbehandelter Traubensäfte». *Rebe und Wein* 13: 71-80, 1963.
- [13] A.R. Deschreider: «Application de l'extraction progressive et de la chromatographie aux farines irradiées par les rayons gamma». *Bull. de l'Ecole de la Meunerie belge* N° 3: 125-136, 1963.
- [14] J.H. Wertheim and B.E. Proctor: «Radiation preservation of Milk and Milk Products». III. «The Thiobarbituric Acid Test as a means of Evaluating Radiation Induced Changes in Milk». *J. Dairy Sci.* 39: 391-401, 1956.
- [15] N.L. Smith, I.J. Tinsley, C.C. Bubl: «The Thiobarbituric Acid Test in Irradiation Sterilized Beef». *Food Techn.* 317-320, 1960.
- [16] G. Thiculin, J. Morre, L. Richou: «Contribution à l'étude des méthodes de contrôle des aliments irradiés». *Ann. Al. Nutr.* 17: B 385-403, 1963.
- [17] H. Gaisch: «Schnellverfahren zur Dosismittlung am vorgemischten, tiefgefrorenen und bestrahlten Hühnerfleisch». *Atompraxis* 9: 1-2, 1963.
- [18] R. Biebl, W. Url: «Chemical Protection against the Effects of Alpha-Rays and of Thermal Neutrons in Plant Cells by Pre- and Post-Treatments». *Rad. Bot.* 3: 67-73, 1962.
- [19] R. Zender, C. Lataste-Dorolle, R.A. Collet, P. Rowinski, C. Raduco-Thomas, R. Busset, R.F. Mouton: «Aseptic Autolysis of Muscle». *Food Res.* 23: 305-325, 1958; *Sec. Int. Conf. At. En.* 27: 384-400, 1958.
- [20] Ch. A. Leone: *Effects of Ionizing Radiations upon the Serological Properties of Proteins*. Symposium of Ionizing Rad. on Immuns Process 1962.
- [21] N. Molin, L. Ehrenberg: «Antibacterial Action of Irradiated Glucose». *Int. J. Rad. Biol.* (in press).
- [22] P. Dupuy, G. Mocquot: «Développement de Lactobacillus Lactis dans le lait irradié». *Int. J. Appl. Rad. Isot.* 15: 255-262, 1964.
- [23] W. Schmidt-Lorenz, Th. Grünewald: «Einwirkung von Elektronenstrahlen auf die Oberflächenstruktur und Lichtdurchlässigkeit von Kunststoff-Verpackungsfolien». *Kunststoffe* 53: 281-289, 1963.

- [24] A. Whitehair, R.W. Bray, R.G. Weckel, G.W. Evans, F. Heiligman: «Influence of Intramuscular Fat Level on Organoleptic, Physical and Chemical Characteristics of Irradiated Pork». *Food Techn.* 18: 108-114, 1964; 19: 114-119, 1964.
- [25] H.L. Hanson, M.J. Brushway, M.F. Pool, H. Lineweaver: «Factors Causing Color and Texture Differences in Radiation Sterilized Chicken». *Food. Techn.* 17: 108-114, 1960.
- [26] E.E. Burns, N.W. Desrosier: «Maturation Changes in Tomato Fruits Induced by Ionizing Radiations». *Food. Techn.* 11: 313-317, 1957.
- [27] A.J. Bailey, J.R. Bendall, D.N. Rhodes: «The Effect of Irradiation on the Shrinkage Temperature of Collagen». *Int. J. Appl. Rad. Isot.* 13: 131-136, 1962.
- [28] Z.I. Kertesz, R.E. Glegg, F.P. Boyle, G.F. Parsons, L.M. Massey: «Effect of Ionizing Radiations on Plant Tissues». *J. Food. Sci.* 29: 40-48, 1964.



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

EURATOM - C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)