

DESTRUCTION NON THERMIQUE DES MICROORGANISMES

TRAITEMENT IONISANT

A) Principe

Traitement physique visant à prolonger la durée de conservation des aliments par l'utilisation des radiations ionisantes. Détruisant ou inhibant en fonction de la dose utilisée les micro-organisme et certaines enzymes :

La matière est composée d'atomes qui se composent d'un noyau et d'un nuage électronique. **Si un rayon accéléré rencontre un électron présent dans la matière celui ci sera éjecté en absorbant une partie de l'énergie du rayon ionisant.** Le rayon peut ensuite encore éjecter d'autres électrons si son énergie est trop grande pour être capté par un autre noyau. L'énergie du rayonnement diminue au fur et à mesure de ces rencontres avec la matière.

Le rayon cède une partie de son énergie à un électron qui sera éjecté. Le rayon sera dévié de sa trajectoire et pourra si son énergie reste suffisante, éjecter d'autres électrons. **L'électron éjecté pourra lui aussi éjecter d'autres électrons avant d'être capturé par un noyau.** On appelle ce procédé l'effet Compton.

Il y a donc formation d'ions par le déplacement d'électron. Ces ions vont réagir en formant des liaisons ioniques qui auront pour conséquences un retour direct à la molécule initiale avec quelquefois

- **une modification de la structure** dans l'espace,
- **une dépolymérisation**
- des produits de la radiolyse de l'eau (H₂O₂...) = radicaux libres.

Il y aura surtout un effet sur les grosses molécules comme l'A.D.N des conséquences importantes pour les organismes complexes comme les insectes ou les micro-organismes. On pourra donc tuer les organismes vivants, polluant l'aliment tout en ayant des effets mineurs sur le substrat.

C'est donc un aliment ionisé mais pas radioactif car l'énergie mise en œuvre dans l'ionisation est très faible et ne fait donc pas apparaître de radioactivité par éjection de nucléons du noyau. Les produits de la radiolyse formés au cours du procédé sont en quantité infime et ressemblent beaucoup aux produits formés au cours des traitements thermiques classiques.

On appelle dose, la quantité d'énergie absorbée par le substrat par unité de masse.

En unité SI, la dose s'exprime en Gray (Gy) qui correspond à 1J/Kg

Rq : On peut aussi utiliser le rad (100 rad = 1 Gy).

Le débit de dose est la dose absorbée par l'aliment par unité de temps d'exposition.

- le produit reste emballé (pas de recontamination ultérieure)
- sans élévation de température (produits thermosensibles, réfrigérés ou congelés)
- sans quarantaine, les produits sont donc disponibles dès la fin du traitement, diminuant ainsi les frais de stockage.

B) Action sur les microorganismes

Les radiations ionisantes entraînent :

- des modifications des ARN et ADN,
- des oxydations des lipides entraînant la destruction des membranes.
- la formation de radicaux libres qui détruisent les micro-organismes.

Ces perturbations entraînent une inhibition de la croissance, voire la destruction des micro-organismes.

Rq : 1s micro-organismes sont plus sensibles en phase exponentielle de croissance.

La cinétique de destruction est proportionnelle à la dose appliquée D suivant une loi exponentielle.

D₁₀ est la dose correspondant à la destruction de 90% des microorganismes

Il caractérise la radiorésistance des micro-organismes. Les microorganismes sporulés sont les plus résistants avec certains Gram + (*Micrococcus radiodurans* D= 3,5kGy), les Gram - sont les moins résistants (*Pseudomonas* D=0.027 Kgy).

Tout facteur favorisant la radiolyse de l'eau diminue la radiorésistance : eau, O₂, sels minéraux, pH bas. Tout facteur entravant la mobilité des radicaux libres augmente la radiorésistance (viscosité, matière sèche).

C) Action sur les aliments

La valeur nutritionnelle des aliments ionisés est peu modifiée elle dépend de la dose appliquée et du produit ionisé.

En dessous de 10 kgray:

Les glucides restent relativement stables

Les protéines ne sont pas détruites donc la plupart des enzymes restent intactes à des doses inférieures à 60kGy sauf les enzymes de mûrissement

Les produits de radiolyse des protides peuvent donner des odeurs (NH₃, composés soufrés...).

Les lipides sont facilement oxydés -> risque de rancissement qui augmente avec la dose utilisée, surtout les lipides riches en AGI (acides gras insaturés).

L'action sur les vitamines dépend de leur structure : aucune altération des vitamines B₁ et B₆, destruction des vitamines K et E.

Autres : perte de viscosité des gommages végétales, modification de la couleur et de l'odeur de la caséine (lait !)

Au-delà de 10 kGy, l'amidon est dépolymérisé

D) Méthodes

On distingue 3 types de traitements en fonction de la dose utilisée :

Catégories d'ionisation	Energie absorbée D (dose appliquée)	Effets des rayonnements
Radurisation (radiopasteurisation)	D < 1 à < 5 kGy	Inhibition de la germination (bulbes, tubercules) Réduction des micro-organismes saprophytes Destruction des moisissures et des insectes
Radicidation (radioaseptisation)	D<10kGy	Destruction des levures, moisissures et microbes pathogènes non sporulés (salmonelles)
Raddappertisation (radiostérilisation)	D de 20 à 50 kGy	Stérilisation, destruction des spores bactériennes (10-30 kGy)

Pour détruire virus et enzymes, il faudrait des doses supérieures à 50 kGy, ce qui entraînerait des modifications de goût.

Pharmacie, cosmétologie, phytosanitaire

=> Stérilisation, décontamination des matières premières (algues, argiles, végétaux...)

=> Stérilisation des emballages vides, valves, aérosols...

=> Stérilisation des produits sous emballage clos

La modification cellulaire provoquée par le traitement ionisant a souvent un effet bénéfique sur les caractéristiques physiques des végétaux utilisés en cosmétologie : modification de la viscosité des algues, par exemple.

E) Techniques

a) Rayons gamma.

Il sont obtenus par des isotopes radioactives artificiellement tels que le cobalt 60 ou le césium 137.

- Les débits de dose étant faibles, le temps d'exposition est élevé (encombrement)
- fortes exigences sécuritaires (source radioactive)

b) Les électrons accélérés

Les électrons accélérés sont créés grâce à des accélérateurs de particules. Leur énergie est de l'ordre de 3 MeV pour les besoins en IAA. Émis par une source électrique, un faisceau d'électrons est accéléré et dirigé sur les produits à traiter qui sont acheminés sur un convoyeur.

- Les électrons accélérés présentent une souplesse d'utilisation car on peut arrêter leur production à volonté contrairement au rayons gamma.
- La pénétration des électrons est très faible ce qui limite leur utilisation pour des traitements de surface ou pour des matières de faible épaisseur ou de faible densité.

Exercice

F) Législation

En alimentaire, la dose d'irradiation est limitée à 10 kGy car à cette dose, il n'y a pas de risque de toxicité.

Une demande d'autorisation est nécessaire pour les traitements à dose élevée.

Pour les doses moyennes ou faibles, il existe une liste positive d'aliments pour lesquels l'ionisation est autorisée. Cette liste positive est accompagnée des conditions de traitement le logo d'identification est obligatoire sur l'étiquette. (Polycopié)

Actuellement, l'ionisation est autorisée pour une seule catégorie d'aliments en Europe, il s'agit des herbes aromatiques séchées, des épices et des condiments végétaux. Mais cinq pays de l'Union autorisent l'ionisation d'autres aliments : la Belgique (8), la France (16), l'Italie (3), la Hollande (8) et le Royaume-Uni (10)

Près d'un million de tonnes d'aliments sont traités, de façon courante, par irradiation ionisante, dans 41 pays, afin d'éliminer les bactéries nuisibles, prolonger la durée de conservation et détruire les insectes. 20.000 tonnes par an actuellement traitées en France.

La recherche en irradiation des médicaments est un secteur "quasi vierge" et où les publications sont rares, même quand des résultats ont été obtenus (problèmes de confidentialité) ; elle ne pourra être développée que par une collaboration entre chercheurs universitaires et industriels concernés. (Polyc)

Détection des aliments ionisés

L'innocuité des aliments ionisés ayant été reconnue depuis 1980 par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), le procédé est autorisé dans de nombreux pays mais reste encore interdit dans de nombreux autres. Apporter la preuve de l'ionisation, c'est donc se donner les moyens de contrôler les échanges commerciaux des aliments concernés (lutte contre les fraudes) et de valider l'étiquetage des produits traités, condition nécessaire à l'information tant des industriels que des consommateurs.

Méthodes apportant une preuve d'ionisation

Elles utilisent, selon la nature des aliments ou des parties d'aliments, soit un critère physique, pour les aliments solides et secs, comme la résonance paramagnétique électronique (RPE) [7] et la thermoluminescence, soit un critère chimique, pour les produits riches en lipides, comme : la « méthode des lipides » [8] qui consiste à comparer par chromatographie en phase gazeuse (CPG) leur composition à celle de certains produits radio-induits. Elles viennent d'être reconnues par le Comité Européen de Normalisation (CEN) en tant que preuves d'ionisation [9].

AUTRES (en cours de recherche)

A) Haute Pression

1918 : Larson constate la destruction des micro-organismes traités à 600MPa pendant 14 H.

3 effets sur les micro-organismes :

- Ecrasement de la cellule avec perforation de la membrane
- ionisation des protéines
- inactivation des ATPases.

Le produit à traiter est immergé dans une enceinte remplie d'eau qui est comprimée par une pompe.

B) Lumière puisée (IUT Evreux)

Le produit à traiter est exposé à des éclairs lumineux de lumière blanche (UV+visible+IR) dont l'intensité équivaut à 20 000 fois celle du soleil à la surface de la terre. Les éclairs d'une durée de 200 à 300 μ s sont émis de une à 10 fois par seconde à partir d'une lampe au xénon.

La faible pénétration des rayons lumineux limite ce traitement aux surfaces (emballages).

Exercice :

Sachant que la dose de résistance de *Clostridium botulinum* est de 2 KGray,

- Quelle dose sera nécessaire pour réduire sa population de 12 décimales ?
- Une utilisation en alimentaire est elle possible ?
- Quelle sera la durée d'un traitement au rayons γ dont le débit est de 1 Gy/s ?
- Même question pour la technique des électrons accélérés de débit 1 kGy/S ? Commenter ces résultats.

Il faut $2 \times 12 = 24$ KGray pour réduire la population de *C.botulinum* de 12 décimale, donc pas pour une utilisation en agroalimentaire, sauf traitement des emballages, mais une réduction de 12 décimale est-elle nécessaire dans ce cas ? Une utilisation alimentaire permettrait une réduction de moins de 5 décimales.

Pour les rayons γ : $24\ 000/1 = 24\ 000$ s soit 6 H.

Pour les e^- accélérés : $24/1 = 24$ s

Les e^- accélérés permettent un traitement beaucoup plus rapide mais n'ayant d'efficacité qu'en surface donc convenant pour les emballages.

Effets recherchés	Doses efficaces (KGy)
Inhibition, de la germination des bulbes et tubercules	0,03 à 0,1
Désinsectisation	1 à 3
Pasteurisation (radurisation)	1 à 6
Stérilisation (radappertisation)	15 à 50
Inhibition de l'activité enzymatique	60

Procédé - dose	Produits Frais	Produits stabilisés (secs - surgelés)
Antigermination (0,05 - 0,15 kGy)	Pomme de Terre Oignon Ail	
Désinsectisation (0,5 -3 kGy)	Agrumes Papaye	Légumes Secs Fruits Secs Céréales
Destruction des parasites (0,5 -3 kGy)	Viande de Porc Viande de Cheval (Trichine)	
Maturation différée (1-3kGy)	Fraise - Framboise Papaye -Mangue	
Hygiénisation Pasteurisation (2 -10 kGy)	Poisson - Poulet	Crustacés congelés Epiées - Légumes déshydratés Serai conserves Surfines de volaille
Appertisation (25 -50 kGy)	Poulet - Boeuf	

Comparaison des connaissances en irradiation des aliments et des médicaments

Le tableau suivant permet de comparer rapidement l'état des connaissances sur l'irradiation des médicaments à celle des aliments et les travaux restant à faire ; il est évident qu'à côté de ces deux grands domaines se situent des catégories de produits (produits cosmétiques...) qui sont chacun des cas d'espèce.

	Aliments	Médicaments
Familles de produits	Bien définies et codifiées (OMS, Codex Alimentarius) Beaucoup de produits par famille.	Pas ou peu codifiées. 4 ou 5 produits par famille, voire moins.
Non toxicité	Démontrée et reconnue par l'OMS.	Montrée uniquement sur certains médicaments.
Effets physico-chimiques	Bien connus au moins pour les constituants majeurs.	Souvent mal connus.
Autorisations	Sur liste positive, donc par famille de produit. Directive européenne.	Produit par produit (A.M.M.).
Méthodes de détection	Recherches très avancées. Déjà 5 protocoles européens reconnus, d'autres en cours de reconnaissance.	Recherches en phase de démarrage. Aucun protocole reconnu officiellement.

ROLES DE L'IONISATION

Assainir :

Le traitement participe à la maîtrise de la qualité des produits finis. L'ionisation est utilisée pour de très nombreux produits :

- le matériel de laboratoire : boîtes de pétri, pipettes, tubes
- les matières premières ou produits finis des **industries cosmétiques**.
- les emballages vides : flacons, capsules, bouchons, opercules.

Conserver

L'ionisation est une **sécurité sanitaire** pour de nombreux produits agro-alimentaires.

Cette débactérisation et cette désinsectisation conservent les propriétés organoleptiques et nutritionnelles.

- Produits déshydratés : épices et aromates, légumes, gommés ...
- Produits surgelés : viandes de volailles, cuisses de grenouilles ...
- Produits frais : fraises, blanc d'oeufs, oignons, aulx, échalotes...

Stériliser

Une stérilisation sans résidu, à froid à travers l'emballage définitif :

- de matériel médical à usage unique,
- des articles de conditionnements : flacons, capsules, bouchons,
- des matières premières ou produits finis des **industries pharmaceutiques**.

Réticuler

L'ionisation :

- améliore les caractéristiques mécaniques des films thermoplastiques,
- permet le durcissement à froid de résines,
- favorise la réticulation de polymères,
- autorise le greffage sur textiles.

Plusieurs programmes de recherche sont en cours, pour élargir les applications chimiques.