

L'IONISATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES



Professeur Jacques FOOS - 26 janvier 2006

Qu'est ce que l'ionisation des denrées alimentaires ?

Un procédé de conservation

mais surtout

un procédé d'assainissement

comparable à la pasteurisation



Technologie commerciale apparue à la fin des années 1950

**Utilisée depuis ses débuts dans les
missions spatiales de la NASA**

**Déjà utilisée pour la stérilisation du matériel médical et
de laboratoire, des emballages alimentaires, des
bouchons en liège des bouteilles de vin, ...**



Pourquoi ioniser les aliments ?

« dans le Monde, plusieurs milliards de cas de maladies d'origine alimentaire sont enregistrées chaque année. Dans les pays industrialisés, une personne sur trois peut être victime d'intoxications alimentaires » (source OMS)

*** Souffrances humaines**

*** Pertes économiques de l'ordre de milliards d'euros**

Les enfants, les femmes enceintes, les malades et les personnes âgées sont particulièrement à risque



Pourquoi ioniser les aliments ?

Approximativement 25% de la production alimentaire mondiale est perdue après récolte (causes principales : altérations dues essentiellement aux insectes et bactéries)

Ce qui représente par exemple, aux États-Unis, une perte annuelle de l'ordre de 10 milliards de dollars

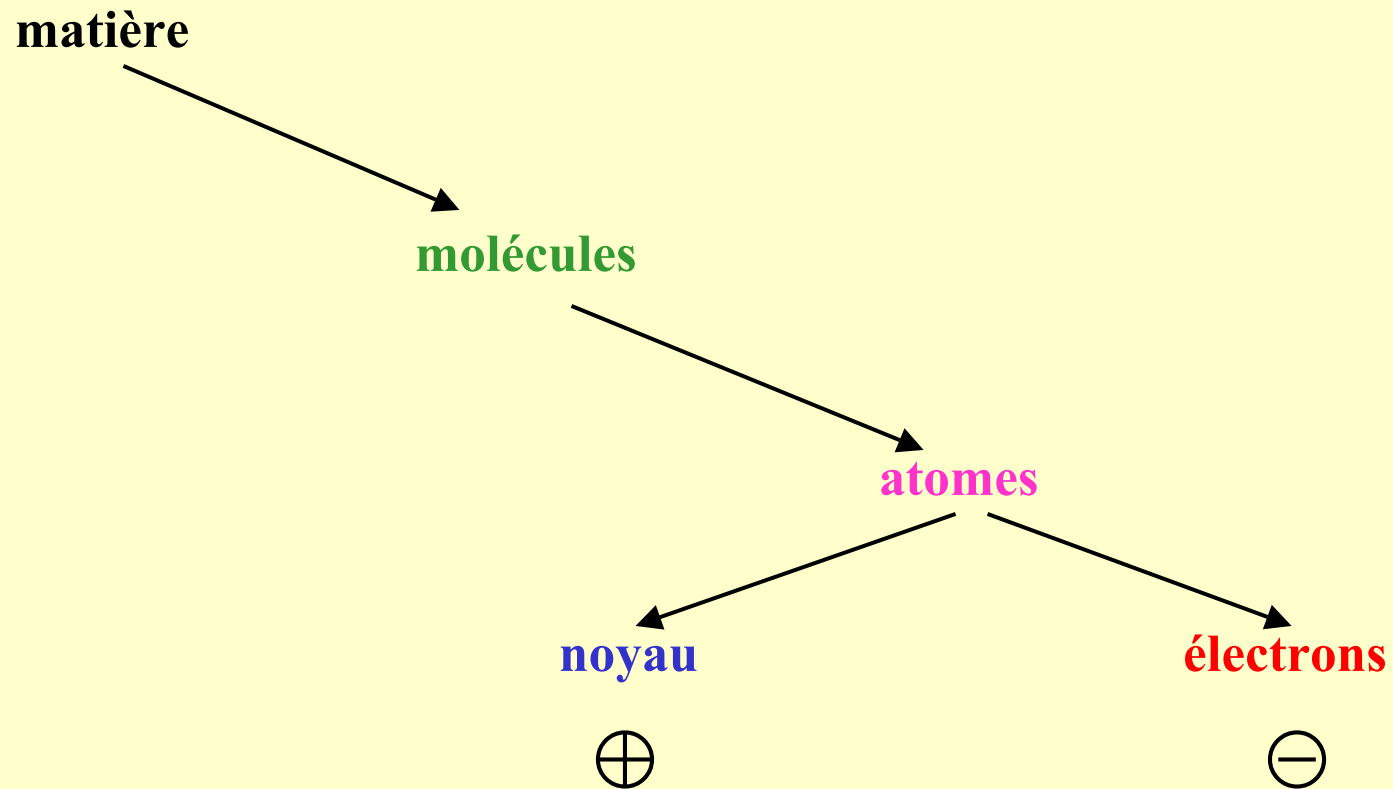


Historique

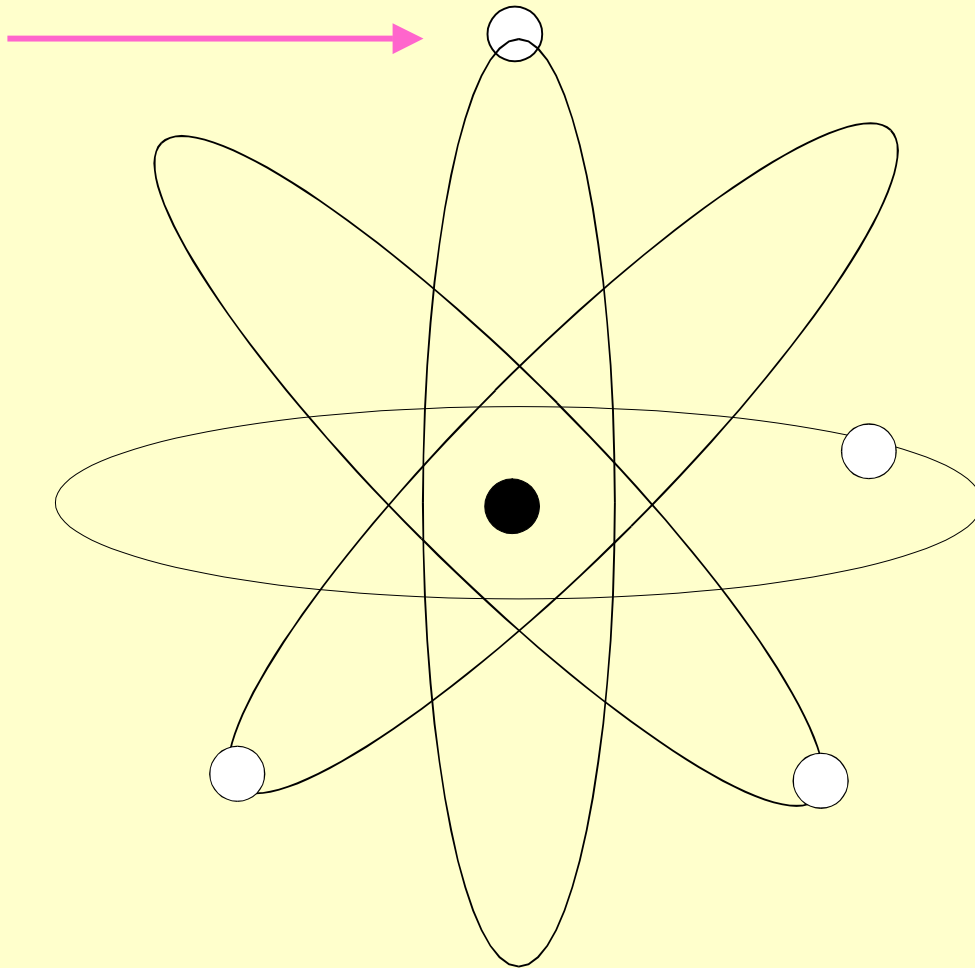
- 1930 : premier brevet sur la stérilisation des aliments par des rayons durs pénétrants**
- 1972 : mise en place d'un vaste programme international en matière d'ionisation (Karlsruhe), patronné par l'OCDE et financé par 24 pays**
- 1980 : avis du Comité d'Experts mixte FAO/OMS/AIEA : « innocuité des aliments ionisés dans un premier temps jusqu'à 10 kGy »**
- 1997 : avis du Comité d'Experts mixte FAO/OMS/AIEA : « innocuité des aliments ionisés sans limitation de dose commerciale »**
- 1999 : directive du Parlement Européen « sur les denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation. »**



IONISATION ?

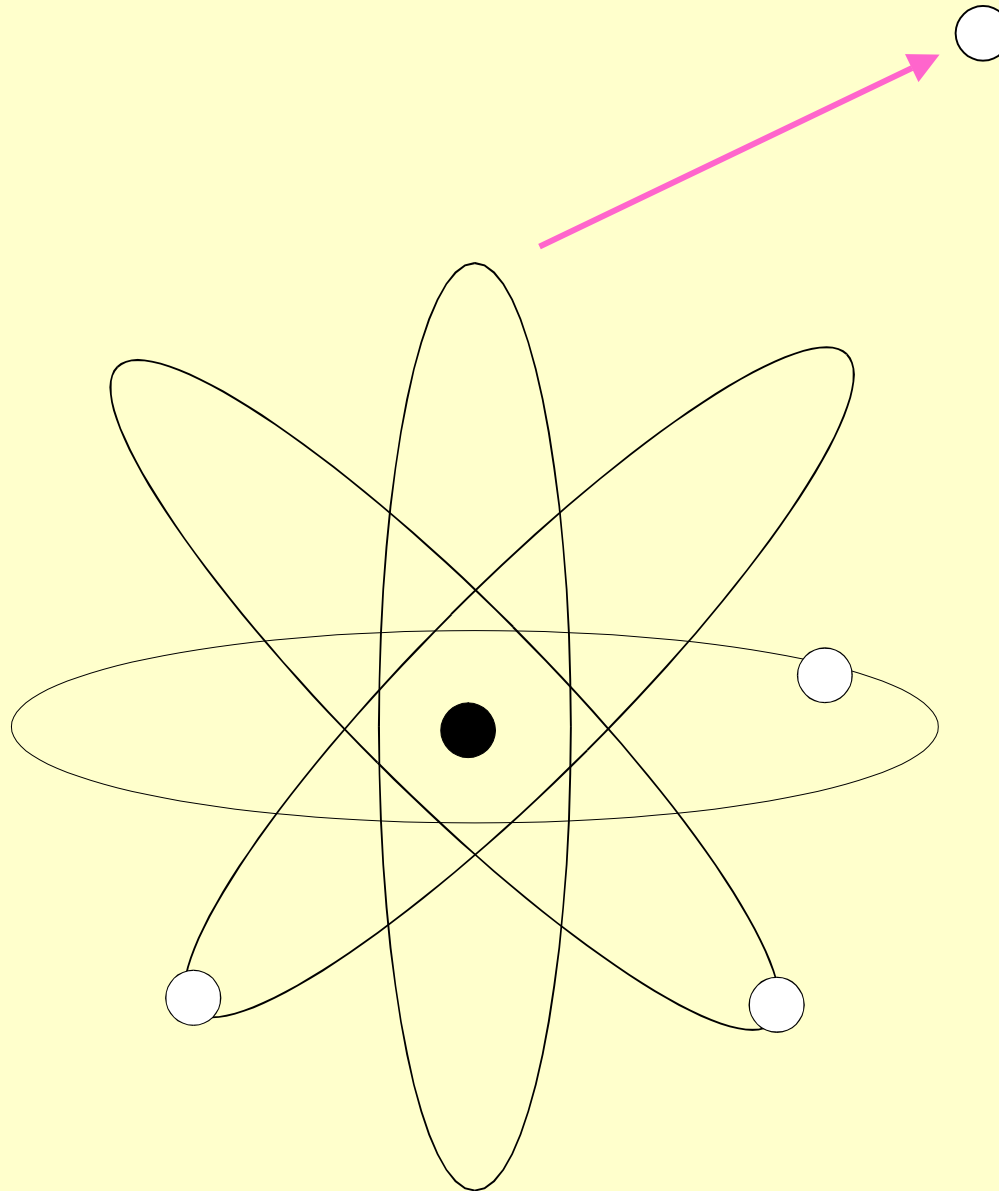


IONISATION ?



Atome

IONISATION ?



Atome → ion

Arracher un électron à un **atome revient à transformer
ce dernier en **ion** (positif)**

**Cette transformation
s'appelle**

L'IONISATION



Comment ioniser ?

Il faut apporter une énergie suffisante pour arracher un électron.

Rayonnement :

mode de propagation de l'énergie sous forme

- d'ondes

- de particules

→ irradiation

→ rayonnement ionisant



Rayonnements ionisants

- **ondes** (rayonnements électromagnétiques)

- rayons X

- rayons γ

- **particules** : électrons



Sources de rayonnements

- électrons
- rayons X

accélérateurs

- rayons γ

sources radioactives

^{60}Co : 1,17 et 1,33 MeV

^{137}Cs : 0,66 MeV



1 MeV ?

1 mégaélectronvolt

- **pour un rayonnement électromagnétique :**
 - **Longueur d'onde de l'ordre du milliardième de millimètre (centième d'angström)**
- **pour un électron :**
 - **Énergie communiquée à cette particule lorsque celle-ci est accélérée sous une différence de potentiel d'un million de volts**



Ionisation et radioactivité

L'énergie des rayonnements ionisants doit être suffisamment importante pour posséder **un pouvoir de pénétration raisonnable**, mais doit rester en dessous des limites d'activation : **éviter d'induire dans le matériau rencontré le phénomène de Radioactivité.**

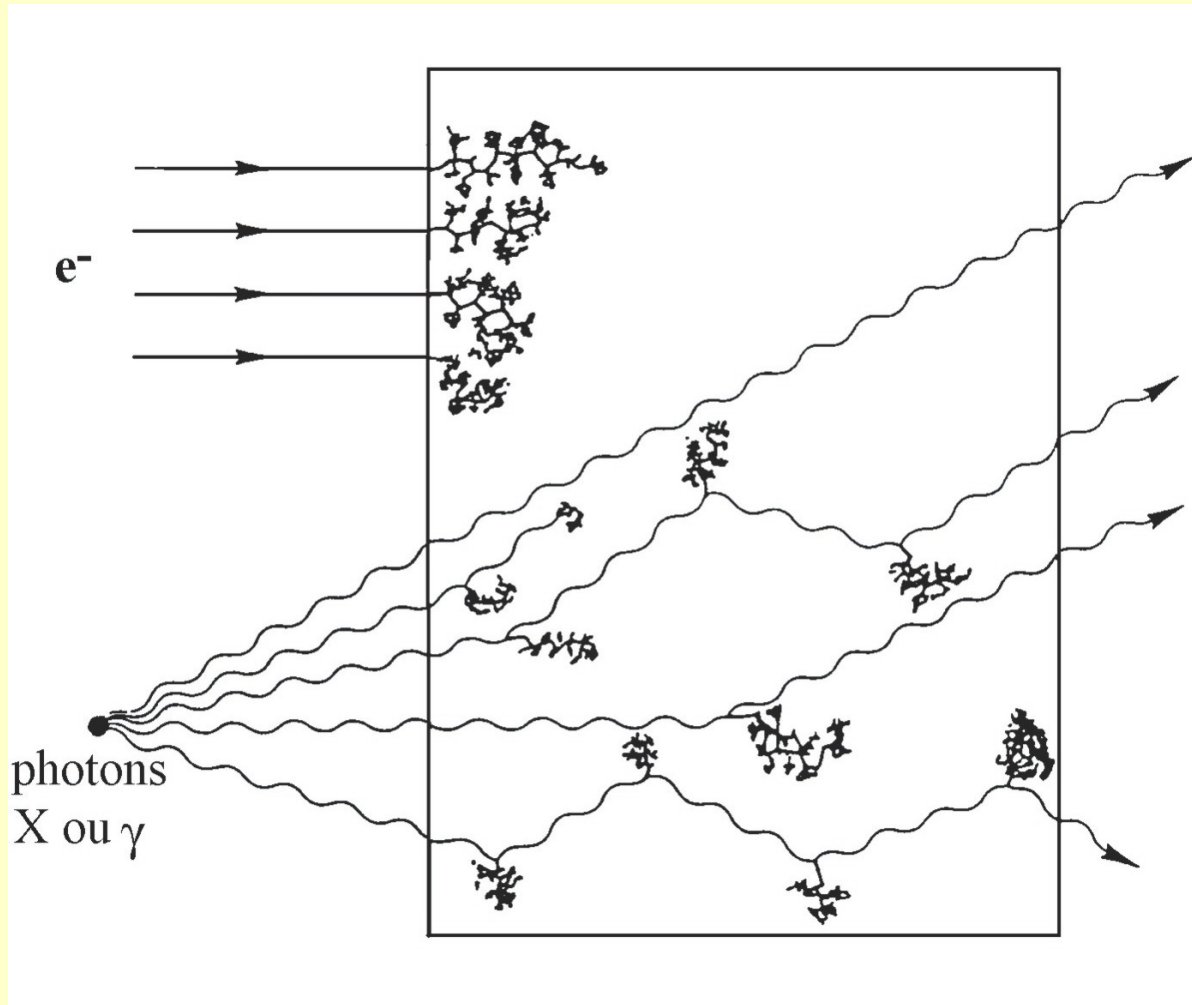
Énergie maximale autorisée :

10 MeV



Électrons : 3,5 cm/d ou 8 cm/d

pour $E = 10 \text{ MeV}$



Gamma : 15 à 20 cm/d



Dose et débit de dose

Dose : Énergie absorbée / masse

L'unité officielle de dose est le **gray** (Gy)

1 gray : absorption d'une énergie de 1 joule par kg

$$1 \text{ kGy} = 1000 \text{ Gy}$$

ancienne unité : rad

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Mrad} = 10 \text{ kGy}$$

Débit de dose : Dose / unité de temps

s'exprime, par exemple, en kilogray par heure



Les effets de la matière sur le rayonnement sont liés aux effets des rayonnements sur la matière

- Effets physiques
- Effets chimiques

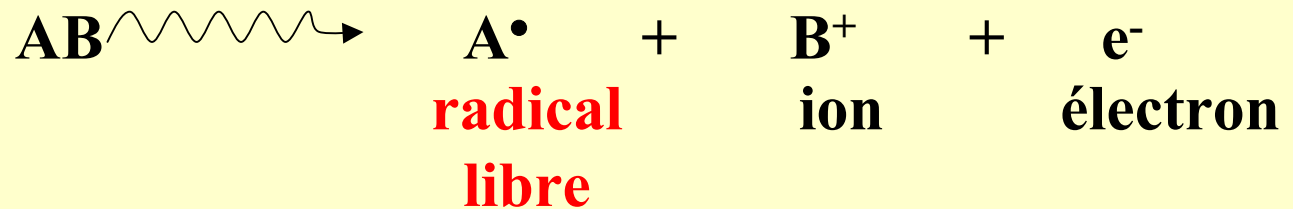
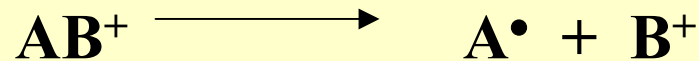
**Dans tous les cas : excitation et ionisation
des atomes ou molécules du milieu
rencontré**



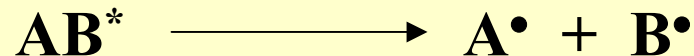
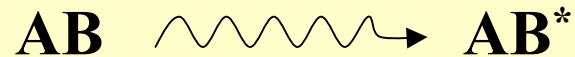
Effet direct

Conséquences chimiques

- de l'ionisation



- de l'excitation

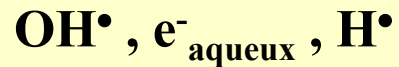


radicaux libres **→** **produits de radiolyse**

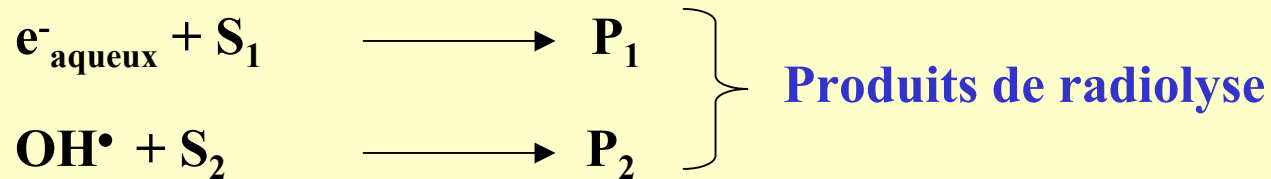
Effet indirect



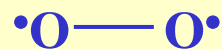
Entités les plus réactives :



Elles vont réagir sur des solutés S éventuellement présents



Une espèce particulière : l'oxygène, biradical



Encore plus réactive !



Effets chimiques des rayonnements ionisants dans le domaine agro-alimentaire

Pour les doses inférieures à 10 kGy, les effets sont très modérés : le pourcentage de produits de radiolyse formés est très faible (0,1 à 0,2 ppm)

Effet sur :	* les protéines	négligeables
	* les glucides	négligeables
	* les lipides	plus significatifs

action de l'oxygène et de divers produits de radiolyse sur les lipides insaturés :

oxygénation et hydrogénation



Les effets chimiques de l'ionisation sur les constituants organiques des produits traités sont **réduits**

L'ionisation

- ne modifie pas sensiblement la qualité nutritionnelle des aliments,
- ne provoque pas l'apparition de produits toxiques ou cancérigènes,
- est toutefois susceptible d'altérer les propriétés organoleptiques de certaines catégories de produits alimentaires riches en graisses.



Radiolyse = Thermolyse

La nature des composés étrangers formés (**produits de radiolyse**) sont de même nature que ceux engendrés par la chaleur (**produits de thermolyse**)

Ils sont formés en plus faible quantité



Aucun effet biologique défavorable consécutif à l'irradiation (radiomutagenèse) ne peut être mis en évidence lors de l'application de la gamme de doses utilisées lors des traitements ionisants.

L'ionisation n'entraîne

- **ni la formation de souches résistantes aux antibiotiques,**
- **ni l'acquisition ou l'augmentation de pathogénicité chez les bactéries ou de virulence chez les virus.**



Les doses dépendent de

- la nature des micro-organismes**
- la quantité des micro-organismes présents**
- du traitement souhaité**



**Les organismes vivants les plus complexes (vertébrés ...)
sont formés de collection de cellules très nombreuses
et très diversifiées**

→ **information génétique importante (A. D. N.)**

→ **très radiosensibles**

→ **tués par des doses de 0,003 à 0,01 kGy**



Des organismes plus rustiques (insectes ...)

sont plus résistants 1 à 3 kGy

**Toutefois, des doses de 0,03 à 0,20 kGy suffisent à stériliser
la plupart des insectes adultes.**

Les embryons sont tués par des doses de 0,15 kGy



DRD

**Collection de cellules très simples
et indépendantes les unes des autres**

Dose de réduction décimale : DRD

0,05 à 8 kGy et plus

**On admet généralement que la dose de stérilisation
se situe au niveau de 25 kGy**



Élément nutritif affecté	Témoin non traité	Traitement par chaleur	Stérilisé par le rayonnement
Méthionine	100	75	88
Lysine	100	85	95-100
Argénine	100	92	100
Phénylalanine	100	92	96-100
Leucine	100	96-100	96-100
Vitamine A	100	45-52	65-70

Action sur les 6 composants les plus sensibles des aliments pour animaux de laboratoire

Comparaison des quantités de produits formés (19) par chauffage (15 h, 270°C) et par traitement ionisant (60 kGy, 25° C) de la tricaproïne

Par chauffage :

83,14 millimoles par kg (61,61*)

Par traitement ionisant :

25,31 millimoles par kg (16,82*)

*** : concentration totale des 6 produits ayant la potentialité toxique la plus importante**



PRODUITS TRAITÉS ET DOSES UTILES

0,05 à 0,15 Gy

inhibition de la germination des bulbes et tubercules

0,15 à 3 kGy

élimination des insectes qui détruisent les céréales, fruits et légumes ainsi que certains vers parasites des viandes (« Trichinella spiralis »)

0,7 à 3 kGy

amélioration de la qualité et allongement de la durée de conservation des fruits et légumes frais

2 à 5 kGy

conservation des viandes prédécoupées, poissons et crustacés

5 à 10 kGy

traitement des charcuteries, semi-conserves, plats cuisinés, épices, aromates

et au-delà ?

EFFICACITÉ SUR LA RÉDUCTION DE LA FLORE TOTALE

(Nombre de germes par grammes)

	témoin	irradiation	dose	Oxyde d'éthylène
Fenouil	465 000	0	10 kGy	14 500
Paprika	9 860 000	0	10 kGy	15 300
Asperges	8 100 000	8 100	10 kGy	190 000
Carottes	37 100	440	5 kGy	8 300
Camomille	4 700 000	2 100	9 kGy	15 300
Menthe	33 000 000	1 000	9 kGy	2 400

CABILLAUD

réfrigéré en glace (J : date de débarquement)

	Produit non traité			Produit traité par ionisation		
	Flore aérobie mésophile	ABVT	TMA	Flore aérobie mésophile	ABVT	TMA
J+2	390	18,40	2,32	100	11,10	1,72
J+10	75 022	19,33	10,82	1 131	13,15	4,28
J+15	109 365	53,24	37,11	1 205	17,97	6,22
J+21	-	-	-	31 000	19,50	7,23
Seuil limite	100 000	28,00	12,00			



RADURISATION

Application de doses ionisantes réduisant sensiblement la charge microbienne du produit en vue d'allonger légèrement sa durée de vie commerciale

doses inférieures ou égales à 5 kGy



RADICIDATION

Application de doses d'irradiation suffisantes pour réduire le nombre de **microorganismes pathogènes de façon à ne pouvoir les mettre en évidence par aucune méthode microbiologique connue**

doses inférieures ou égales à 10 kGy



RADAPPERTISATION

Application de doses d'irradiation suffisantes pour réduire le nombre de **microorganismes vivants de façon à ne pouvoir les mettre en évidence par aucune méthode microbiologique connue**

doses comprises entre 20 et 50 kGy



Innocuité des aliments ionisés

- * Pas de radioactivité induite
- * Pas de mutation radioinduite
- * Des produits de radiolyse identiques aux produits de thermolyse, en plus faible quantité
- * Pas d'effets significatifs dus à l'emballage



Innocuité des aliments ionisés

* Plus de 1220 études menées depuis 1979 sur la salubrité de 278 aliments destinés aux animaux de laboratoire n'ont mis en évidence aucune différence significative entre un aliment ionisé et un aliment non ionisé en terme de :

- toxicité
- pouvoir pathogène
- propriétés mutagènes



Aspects réglementaires : Législation française

Décret 2001-1097 du 16 novembre 2001

relatif au traitement par ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale

Arrêté du 8 janvier 2002

relatif à l'agrément et aux contrôles et vérifications des installations de traitement des denrées par ionisation

Arrêté du 20 août 2002

relatif aux denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation



Aspects réglementaires : Législation française

L'irradiation n'est pas utilisée pour remplacer les mesures d'hygiène et de santé ou de bonnes pratiques de fabrication ou de culture

Étiquetage : mention « traité par rayonnements ionisants »
ou « traité par ionisation »



radura



Aspects réglementaires : Législation européenne

La réglementation des aliments est fondée sur deux principes :

- * la protection et la santé des consommateurs**
- * la loyauté des transactions commerciales**

Directive 1999/2/CE du 22 février 1999 : rapprochement des législations des états membres concernant les conditions générales de traitement par ionisation des denrées et des ingrédients alimentaires

fixe les conditions d'autorisation de l'irradiation des denrées alimentaires



Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

... considérant que l'article 4 de la directive 1999/2/CE prévoit l'adoption d'une liste de denrées alimentaires qui peuvent, à l'exclusion de tous les autres, être traités par ionisation ; que cette liste est établie par étapes ;

considérant que les herbes aromatiques séchées, les épices et les condiments végétaux sont fréquemment contaminés et/ou infestés par des organismes et leurs métabolites, qui sont de nature à nuire à la santé publique ;



Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

considérant qu'une telle contamination et/ou infestation ne peuvent plus être traitées par des fumigants tels que l'oxyde d'éthylène en raison des risques de toxicité de leurs résidus ;

considérant que l'utilisation des rayonnements ionisants peut remplacer efficacement lesdites substances ;



Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne

considérant que le traitement par ionisation est accepté par le Comité scientifique de l'alimentation humaine ;

considérant que ce traitement est, par conséquent, dans l'intérêt de la protection de la santé publique,



Aspects réglementaires : Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne ont arrêté la présente directive :

Art 1 : ... la présente directive établit une liste communautaire positive initiale de denrées et ingrédients alimentaires, ci-après dénommés «denrées alimentaires », pouvant être traités par ionisation et fixe les doses maximales autorisées pour atteindre le but recherché ...

Art 2 : les États membres ne peuvent interdire, restreindre ou empêcher la commercialisation de denrées alimentaires irradiées conformément aux dispositions générales de la directive-cadre et aux dispositions de la présente directive au motif qu'elles ont été traitées par ionisation ...

Aspects réglementaires :

Législation européenne

Directive 1999/3/CE du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation

Le Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne ont arrêté la présente directive :

ANNEXE

Denrées alimentaires pouvant être traitées par ionisation et doses maximales d'irradiation

Catégorie de denrées alimentaires	Dose globale moyenne de radiation absorbée (kGy) valeur maximale
Herbes aromatiques séchées, épices et condiments végétaux	10

Autorisations d'irradiation : le top 15

41 pays ont approuvé l'irradiation d'environ 50 aliments différents

1 Afrique du Sud

2 Israël

3 Thaïlande

4 Chili

5 Brésil

6 Yougoslavie

7 Bangladesh

8 Pays-Bas

9 France

10 États-Unis

11 Hongrie

12 Chine

13 Russie

14 Belgique

15 Canada



Les autres pays

**Algérie – Allemagne – Argentine – Corée – Costa-Rica –
Croatie – Cuba – Danemark – Espagne – Finlande –
Grande-Bretagne – Inde – Indonésie – Iran – Italie –
Japon – Mexique – Norvège – Pakistan – Pérou –
Philippines – Pologne – République Tchèque – Syrie –
Ukraine – Uruguay**



Situation en France

Denrées et ingrédients alimentaires autorisés au traitement conformément à la directive 99/2/CE 99/3/CE

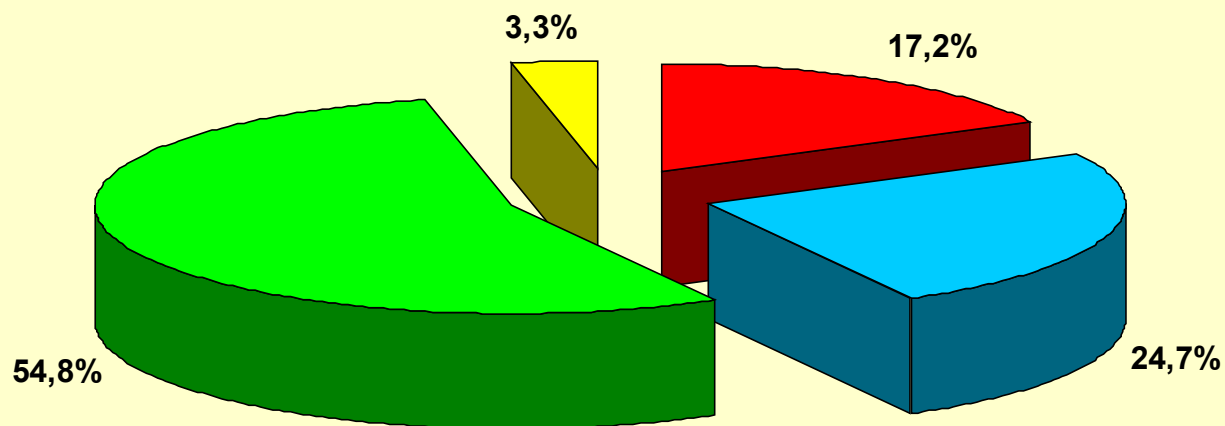
Denrées	Dose (kGy) valeur max	Denrées	Dose (kGy) valeur max
Herbes aromatiques surgelées	10	Cuisses de grenouilles congelées	5
Oignons, aulx, échalotes	0,075	Abats de volailles	5
Légumes et fruits secs	1	Blanc d'œufs	3
Flocons et germes de céréales destinés aux produits laitiers	10	Sang animal, plasma et cruor déshydratés	5
Farine de riz	4	Gomme arabique	3
Viandes de volailles	5	Caséine, caséinates	6
Crevettes surgelées ou congelées	5	Viandes de volailles séparées mécaniquement	5

Herbes aromatiques séchées, épices et condiments végétaux

10

Exemples de quantités traitées en 2002

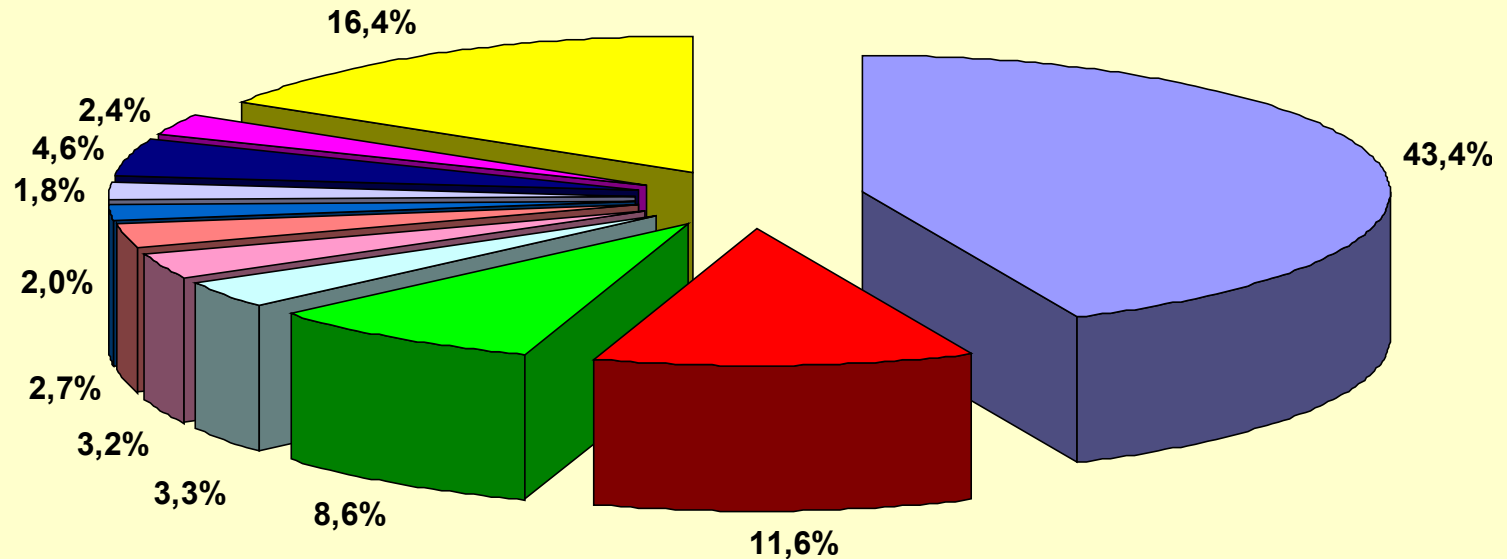
France : 5 129 tonnes



- cuisses de grenouilles congelées
- épices, herbes aromatiques, légumes secs
- viandes de poulet séparées mécaniquement, viandes et abats de poulets
- autres produits

Exemples de quantités traitées en 2002

Belgique : 6 613 tonnes

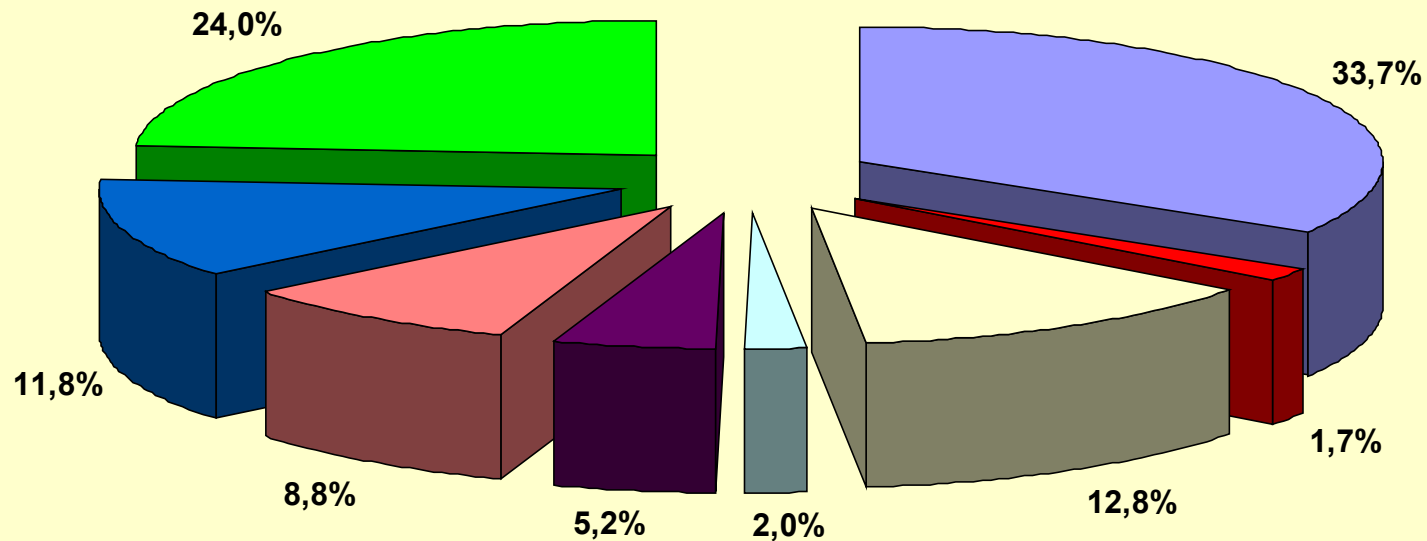


■ cuisses de grenouilles congelées
■ épices, assaisonnements
■ fromages
■ volaille congelée
■ viande congelée
■ autres produits

■ fruits de mer congelés
■ légumes congelés
■ poisson
■ œufs
■ autres produits congelés

Exemples de quantités traitées en 2002

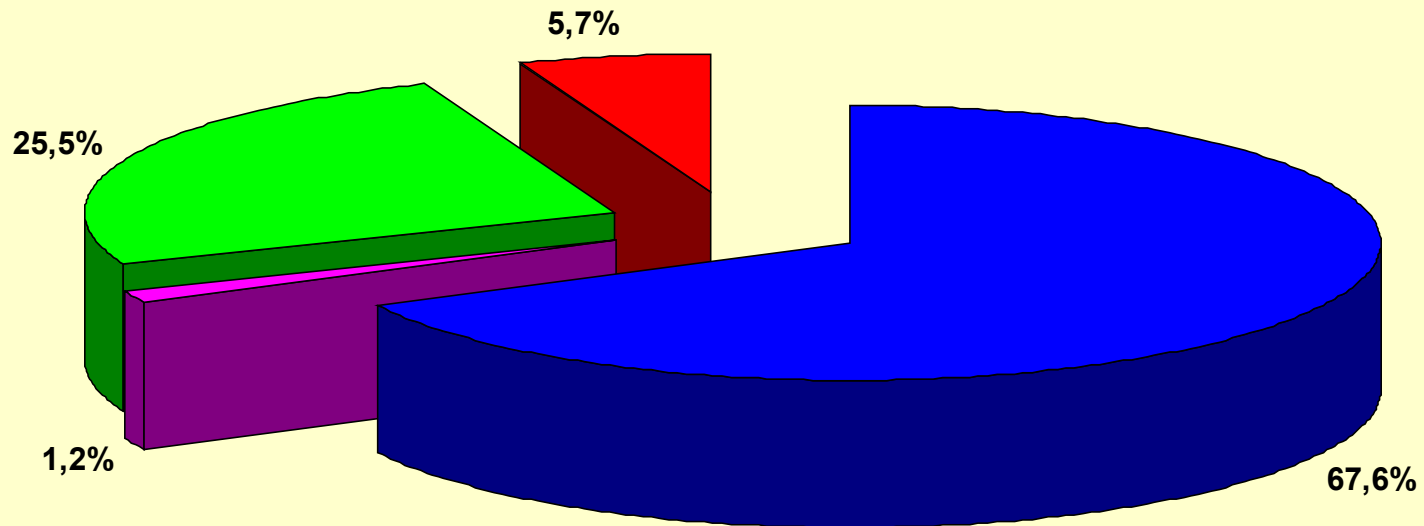
Pays-Bas : 7 114,4 tonnes



- légumes secs
- viande de volaille congelée
- cuisses de grenouilles
- aliments destinés à l'exportation
- fruits séchés
- crevettes roses congelées
- blancs d'œufs
- épices, fines herbes

Exemples de quantités traitées en 2002

Allemagne : 494,4 tonnes



- herbes aromatiques et épices
- graines oléagineuses (export)
- tisanes (export)
- légumes (export)

IONISATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES

- **Traitement simple et reproductible**
- **Dosimétrie précise**
- **Absence d'augmentation significative de la température**

D'où **moins d'altération des principes nutritifs par comparaison à des traitements de conservation classiques**

- **Absence d'additifs chimiques**



QUELQUES DIFFÉRENCES

- **pénétration plus grande pour les rayons γ que pour les électrons**
- **emploi d'une source radioactive dans le cas des rayons γ d'où manipulations périodiques de sources très intenses**
- **débits de dose très différents :**
 - **de l'ordre du kGy/h (rayons γ)**
 - **de l'ordre de 1 000 kGy/h (électrons)**

→ **Les deux technologies sont plus complémentaires que concurrentielles**

