

II-3. Méthodes physiques

3.1. L'irradiation ou ionisation :

L'ionisation ou l'ionisation sont des techniques qui consistent à « bombarder » le produit de radiations ionisantes créées par accélération d'électrons, par isotopes radioactifs ou par une source de rayons X. Précisons que l'irradiation consiste à soumettre les aliments à un flux de photons accélérés, l'ionisation, les soumettant plutôt à des électrons. L'irradiation est le plus souvent utilisée pour le traitement des aliments solides (viandes, fruits de mer, épices), séchés ou frais.

Le traitement de certains aliments par des radiations ou des particules ionisantes est un procédé récent (environ 50ans) et encore relativement peu utilisé. Il permet de détruire soit certains, soit à peu près tous les microorganismes présents dans l'aliment. Il est employé aussi pour détruire des insectes, et pour inhiber ou retarder des processus physiologiques, notamment la germination de tubercules végétaux. Toutefois, les modifications chimiques que les radiations produisent ou peuvent produire sont encore insuffisamment connues. L'aliment traité ne subit pas de modification visible. Les opposants sont nombreux, si bien que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a réalisé une énième étude (Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food). Elle livre ses premiers résultats : l'irradiation n'a aucune incidence néfaste sur la santé des consommateurs - à condition qu'elle soit pratiquée dans des conditions correctes. C'est donc une méthode « sûre et efficace ». Le taux des produits radiolytiques dans les aliments irradiés est le même que dans les autres. L'irradiation ne diminue pas plus la teneur en vitamines que les autres procédés.

Parmi les exemples de radiation, on cite les ondes radioélectriques, les micro-ondes, les rayons X et les rayons gamma. Il existe trois technologies différentes d'irradiation : rayons gamma, faisceaux d'électrons et rayons X. La définition classique distingue les longueurs d'onde à haute énergie (RX,) des longueurs d'onde à photons moins énergétiques (UV, Visible, IR). (Fig. 13)

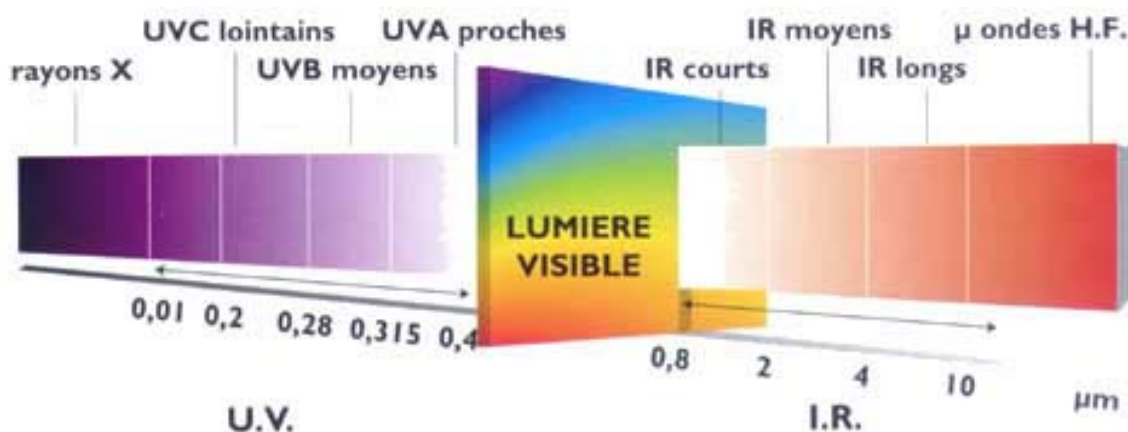


Figure 13 – spectre des ondes électromagnétiques

Les radiations ionisantes englobent les rayons : α , β , γ , X, les neutrons et les électrons accélérés. Leur action sur les matériaux macromoléculaires se traduit par des coupures de chaînes et des arrachements d'atomes dont le résultat est soit une dégradation, soit une réticulation. Si cet effet touche les membranes, enzymes ou acides nucléiques, il arrive à détruire toute forme de vie sans aucune sélectivité. Le processus est le même, quel que soit le type de rayonnement utilisé : l'énergie contenue dans les rayons est transférée aux molécules du produit alimentaire irradié, ce qui permet de convertir les atomes et les molécules en ions en leur enlevant des électrons. Ces ions perturbent les fonctions normales des bactéries, incluant la reproduction. Parce qu'elle n'entraîne pas une élévation marquée de la température de l'aliment, l'irradiation est souvent appelée pasteurisation froide. A l'inverse, les micro-ondes augmentent le mouvement des molécules d'eau dans les aliments, ce qui a pour effet de produire de la chaleur et de cuire la nourriture. L'énergie des rayons traverse l'aliment et son emballage : il s'agit d'un phénomène semblable à celui des micro-ondes qui traversent les aliments dans un four ou celui des rayons X qui traversent les dents du malade chez le dentiste. La dose d'irradiation est généralement mesurée en grays, ou Gy. Il s'agit d'une mesure de la quantité d'énergie transférée à l'aliment irradié. La dose d'irradiation efficace diffère d'une bactérie à l'autre et d'un aliment à l'autre, chaque microorganisme ou être vivant ayant sa propre tolérance (tab. VII)

Tableau VII – doses pour une réduction décimale des microorganismes et virus

Etre vivant	Dose (krad)
<i>Pseudomonas sp.</i>	6
<i>Penicillium sp.</i>	40
<i>Salmonella sp.</i>	70
<i>Clostridium botulinum</i>	370
<i>Micrococcus radiodurans</i>	800
<i>Virus poliomyélitique</i>	1400
<i>Homo sapiens sapiens</i> *	600

* cette valeur représente la dose létale pour l'Homme

Les rayons UV sont des germicides qui affectent divers types de microorganismes. Certains travaux visent à utiliser les radiations atomiques de substances radioactives comme le Cobalt.

L'aliment placé dans le champ électromagnétique absorbe l'énergie du rayonnement et la transforme en chaleur. Ceci est essentiellement du fait des frictions intermoléculaires dues aux oscillations des molécules dipolaires présentes dans le milieu (molécules d'eau par exemple). Ces dipôles, que contient l'aliment, changent d'orientation à chaque changement de sens du champ électromagnétique, soit environ 10^7 à 10^{10} fois par seconde.

Les aliments, qu'il s'agisse par exemple d'une tranche de rôti ou d'une pomme de terre, renferment surtout de l'eau : de 75 % à 90 % si l'on exclut les os. C'est donc

l'action des micro-ondes sur l'eau qui va être essentielle. Or, la molécule d'eau n'est pas électriquement neutre ; elle fait partie des molécules, dites polaires, dans lesquelles existe un couple de deux charges électriques voisines, de valeurs absolues égales mais de signes contraires et ce couple forme un dipôle électrique. Ce dipôle se comporte dans un champ électrique comme une aiguille aimantée dans un champ magnétique. Quand un faisceau de micro-ondes traverse de l'eau, ou un milieu fortement hydraté, toutes les molécules s'orientent dans le sens du champ électrique de ces ondes. Mais, comme ce champ change de sens des milliards de fois par seconde, les molécules suivent le rythme et basculent sans cesse à la même fréquence ; chacune se comporte comme l'aiguille d'une boussole au-dessus de laquelle on ferait balancer un aimant.

Ces oscillations entraînent des milliards de chocs qui augmentent l'agitation moléculaire naturelle, à la fois en fréquence et en amplitude. Comme l'agitation moléculaire correspond à la température, celle-ci s'élève. L'énergie du faisceau de micro-ondes se retrouve sous forme de chaleur et ce, jusqu'à une profondeur qui peut atteindre plusieurs centimètres. Contrairement aux ondes infrarouges qui ne cuisent qu'en surface, les micro-ondes cuisent en profondeur.

On peut ainsi traiter des denrées emballées, les transformant en véritables conserves sans chauffage. Selon le niveau d'irradiation, l'effet sera différent: ainsi les produits frais (et autres fruits et légumes), emballés et ionisés, se conservent près de dix jours. Ces radiations permettent d'éviter la germination de certains légumes, de détruire les insectes infestant les grains, d'inhiber les enzymes et les microorganismes même au cœur du produit et de stériliser les bouchons et les emballages.

Les autorisations d'utilisation du traitement sur un aliment sont délivrées après que l'innocuité du traitement ait été établie. Le traitement par irradiation n'est autorisé que pour certains aliments seulement. Dans certains pays, l'apposition d'un signe appelé : "Radura" ⇨ est obligatoire sur les aliments irradiés.



On estime à plus de 170 irradiateurs-gamma dans le monde. En 2000, 40 pays avaient approuvé plus d'une cinquantaine d'aliments différents. Depuis 28 ans, les astronautes de la NASA consomment des aliments stérilisés par irradiation de façon à éviter toute maladie d'origine alimentaire pendant leur séjour dans l'espace.

Les effets de l'irradiation sur les aliments ainsi que sur les animaux et les gens qui consomment des aliments irradiés font l'objet d'études depuis plus de 50 ans. Ces études permettent de tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne l'utilisation judicieuse de l'irradiation :

- L'irradiation permet de réduire ou d'éliminer les microorganismes pathogènes ;
- Les aliments irradiés ne deviennent pas radioactifs ;
- La valeur nutritive des aliments irradiés demeure essentiellement inchangée.

L'irradiation des aliments comporte plusieurs bénéfices dont les suivants:

- la réduction des pertes d'aliments dues à l'infestation par les bactéries, les insectes et les moisissures qui contaminent les aliments et peuvent mener à des maladies d'origine alimentaire;
- le ralentissement du mûrissement et de la maturation de certains fruits et légumes. Leur durée de conservation et leur condition s'en trouvent ainsi améliorées;
- la prévention efficace contre les ravages causés par les insectes et les moisissures suivant la récolte. L'irradiation peut remplacer certains traitements chimiques tel que l'utilisation du bromure de méthyle.

L'énergie ionisante pénètre dans les aliments pour tuer les micro-organismes sans élever de façon importante la température des aliments. L'irradiation est utilisée dans la transformation des aliments dans le triple but :

de prévenir l'intoxication alimentaire en diminuant le niveau de bactéries nocives telles que le E.coli O157:H7 dans le boeuf haché, les salmonelles et campylobactéries dans la volaille ainsi que les parasites qui provoquent des maladies d'origine alimentaire;

de prévenir la détérioration des aliments par la suppression des bactéries, moisissures et levures, qui causent la détérioration des aliments, ainsi que par le contrôle des insectes et de l'infestation parasitaire;

d'augmenter la durée de conservation en ralentissant le mûrissement ou la germination des fruits et des légumes frais.

Les aliments irradiés peuvent être contaminés, même après le traitement. C'est pourquoi il est très important de les stocker, manipuler et faire cuire avec toutes les précautions nécessaires.

Aux niveaux d'énergie utilisés pour tuer les bactéries, les changements qui surviennent dans les aliments sont si infimes qu'il est difficile de déterminer si un aliment a été irradié ou non. L'irradiation d'un aliment n'entraîne aucune modification importante de sa teneur en acides aminés, en acides gras ou en vitamines. Parce que l'énergie transférée ne demeure pas emprisonnée dans l'aliment, l'irradiation ne laisse aucun effet «rémanent» contre les bactéries. C'est-à-dire que les aliments irradiés doivent être manipulés avec les mêmes précautions que les produits non irradiés, afin d'éviter la contamination au cours de la transformation, de l'entreposage, de la cuisson, etc.

Foire aux questions concernant l'irradiation des aliments (source : www.cna.ca)

L'irradiation des aliments a vu le jour aux États-Unis et au Royaume-Uni au début des années 60. Bien qu'il s'agisse de l'une des technologies alimentaires ayant fait l'objet d'études les plus nombreuses au monde, les renseignements sur l'irradiation des aliments n'ont pas été communiqués de façon adéquate au public en général, principalement à cause de la complexité du sujet. Le but de ces questions et réponses est de fournir quelques faits de base sur ce processus.

1. Qu'est-ce que l'irradiation des aliments?

L'irradiation des aliments est une méthode qui permet de conserver les aliments en utilisant un genre d'énergie de rayonnement. Il s'agit d'une des nombreuses techniques que peuvent employer les producteurs pour conserver la qualité des aliments avant leur distribution aux épiceries. Parmi les autres techniques figurent la cuisson ou le chauffage, la mise en conserve, les traitements chimiques et la pasteurisation à la vapeur. L'irradiation des aliments peut être aussi combinée avec ces techniques.

3. Quelle intensité d'irradiation utilise-t-on?

La quantité de rayonnement utilisée ou nécessaire pour une application particulière varie selon l'aliment et de la raison de l'irradiation. Ordinairement, pour augmenter la durée de conservation ou pour prévenir la détérioration, une faible dose d'irradiation suffit, soit seulement 1 kiloGray (kGy) d'énergie absorbée. Pour empêcher l'intoxication alimentaire, la dose à appliquer dépend du type de bactérie visée et du type d'aliment. Une dose absorbée pouvant atteindre les 3 kGy est habituellement suffisante pour supprimer la salmonelle du poulet frais. En général, il faut des niveaux plus élevés de rayonnement pour détruire les parasites et les insectes. Les virus, dans la plupart des cas, ne sont pas détruits par les niveaux d'irradiation qui conviennent aux aliments.

4. Les aliments irradiés deviennent-ils radioactifs?

Non. Les aliments irradiés ne deviennent pas radioactifs. Au cours de l'irradiation, les aliments ne sont jamais en contact avec la source radioactive. En outre, le *Règlement sur les aliments et drogues* précise les limites supérieures des niveaux de rayonnement de la source utilisée pour le traitement des aliments. Aucune énergie radioactive (ondes) ne demeure dans les aliments après le traitement.

8. Comment les aliments sont-ils irradiés?

Au cours du processus d'irradiation, les aliments sont exposés à une source énergétique ionisante. Trois différentes sources d'énergie peuvent être utilisées : les rayons gamma, les faisceaux d'électrons et les rayons X. La durée d'exposition des aliments à la source et le niveau d'énergie déterminent la dose d'irradiation. Les doses utilisées pour l'irradiation des aliments ne rendent pas ces derniers radioactifs.

9. Quels changements dans les aliments sont causés par l'irradiation?

L'irradiation entraîne des modifications chimiques mineures, semblables à celles associées à la cuisson, et certains aliments irradiés peuvent avoir un goût légèrement différent. Elle ne provoque pas de changement dans les aliments qui, du point de vue toxicologique, aurait un effet indésirable sur la santé humaine. L'irradiation des aliments, aux niveaux d'énergie permis, ne diminue pas la valeur nutritive de l'aliment. Toute cellule vivante dans les aliments, y compris les bactéries potentiellement nocives, sont détruites ou altérées.

10. Est-ce que le traitement par irradiation garantit la salubrité des aliments?

Non. Rien ne garantit la salubrité des aliments, mais l'irradiation diminue considérablement la présence de bactéries et d'autres microorganismes dans les produits alimentaires. Les aliments irradiés doivent être manipulés, stockés et cuits de façon adéquate, comme tous les autres produits alimentaires. Les règles sur la manipulation sécuritaire des aliments - hygiène, emballage, entreposage et préparation adéquats - doivent être observées.

L'irradiation ne peut pas servir à traiter un aliment détérioré. Si un aliment a l'air dégradé, dégage une mauvaise odeur ou a mauvais goût avant d'être irradié, l'irradiation n'y changera rien.

11. Qui établit les normes en matière de niveaux d'irradiation?

Le Canada établit ses propres normes d'irradiation des aliments, à l'instar de plusieurs pays. Les normes canadiennes sont décrites dans le *Règlement sur les aliments et drogues* et consistent en une liste d'aliments qui peuvent être irradiés indiquant les doses maximales permises et d'autres exigences à observer. Santé Canada est chargé d'élaborer ce règlement et ces normes.

Le *Règlement sur les aliments et drogues* s'applique aux aliments mis en vente au Canada quel qu'en soit le lieu de production, et dans ce cas, le lieu de leur irradiation. Il incombe à l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) de faire observer ce règlement.

12. Comment puis-je savoir si un aliment a été irradié?

Tous les aliments irradiés doivent être étiquetés comme tels. En plus d'une description écrite, telle que « irradié », un symbole distinctif, le « Radura », doit figurer sur l'emballage afin d'indiquer que le produit a été irradié. La plupart des consommateurs ne peuvent déceler les différences au niveau de l'aspect, de l'odeur ou du goût de l'aliment.

3.2. La lumière pulsée :

Parmi les technologies douces de conservation, qui pourraient s'appliquer aux produits alimentaires, le procédé par **lumière pulsée** fait aujourd'hui l'objet de nombreux travaux.

Technique :

Pour accomplir cela, on emmagasine de l'énergie électrique dans un condensateur, puis on la transfère du condensateur à une lampe à enveloppe en quartz contenant un gaz inerte, le xénon (Fig. 14). La lampe émet un flash intense de lumière qui est focalisé sur la surface de traitement par le réflecteur de la lampe. Celle-ci émet une lumière de longueur d'onde comprise entre 200nm dans l'ultraviolet et 1100nm dans le proche infrarouge. Le spectre de longueurs d'onde de la lumière émise par le soleil à la surface de la terre est en grande partie semblable à celui de la lumière émise par le procédé par **lumière pulsée** (jusqu'à 90000 fois plus intense que le soleil sur terre).

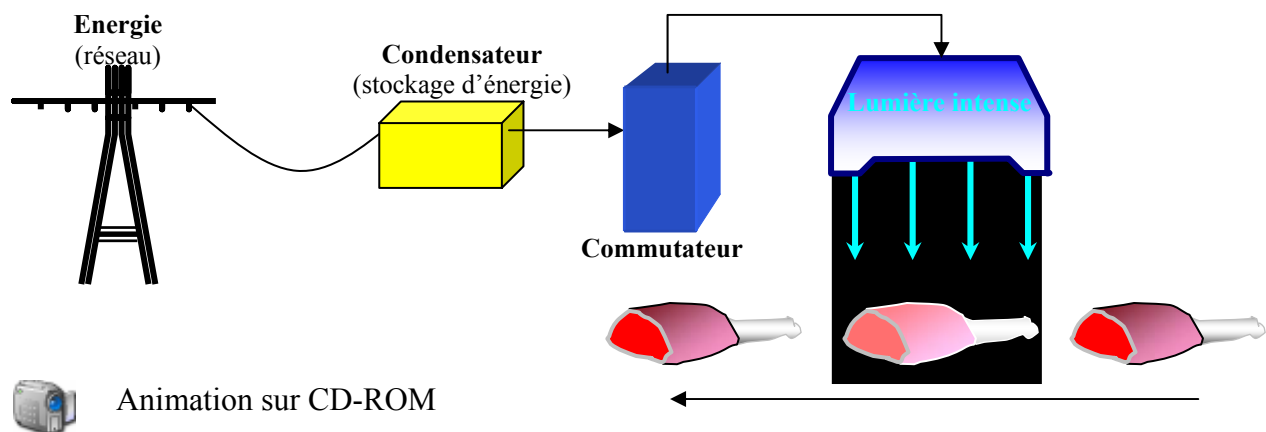


Figure 14 – principe technique de la lumière pulsée

L'effet stérilisant de la lumière pulsée est dû au spectre UV, à des impulsions de courte durée (10^{-6} à 0.1s) et à un pic d'énergie très élevé. Il faut distinguer l'énergie émise pour chaque flash (en $J/cm^2/flash$) de l'énergie totale émise pour x flashes. C'est l'énergie par flash qui reste déterminante, qu'il s'agisse de spores bactériennes ou fongiques.

La lumière pulsée est composée de rayonnements UV, IR et visibles. La composition du spectre est la suivante :

- UV avec longueur d'onde de 200 à 300nm : **08%**
 - UV avec longueur d'onde de 300 à 380nm : **13%**
 - Vis avec longueur d'onde de 380 à 700nm : **49%**
 - IR avec longueur d'onde de 700 à 1100nm : **30%**
- } **21% d'UV**

Les longueurs d'onde de la lumière pulsée font partie de la catégorie des non-

ionisantes car pas assez énergétiques pour provoquer des interactions avec l'eau et la formation de radical hydroxyle OH (mode d'action primaire des photons ionisants).

Le principe de destruction des microorganismes et des particules virales n'est pas assez bien connu. Mais il est en grande partie dû à une synergie d'action des composantes du spectre et de l'effet UV. Le spectre complet permet de détruire les microorganismes, y compris les plus résistants (bactéries sporulées et ascospores des moisissures).

Tableau VIII– niveau d'énergie nécessaire pour détruire certains microorganismes

Micro-organisme	Energie (J/cm ²)	Nombre de flashes
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	12	8
<i>Bacillus subtilis</i>	12	8
<i>Bacillus pumilis</i>	9	6
<i>Botrytis cinerea</i>	9	6
<i>Aspergillus niger</i>	30	20
<i>Cladosporium sp</i>	6	4
<i>Penicillium sp</i>	6	4
<i>Escherichia coli</i>	3	2
<i>Salmonella enteritidis</i>	3	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3	2
<i>Staphylococcus aureus</i>	3	2

3.3. Ozonisation (ozonation) :

L'ozone (O₃) a un effet stérilisant sur les aliments. Son utilisation se fait sur les aliments liquides où, par barbotage, il entre en contact avec les aliments. Outre son pouvoir stérilisant, l'ozone élimine de nombreux goûts et odeurs des aliments.

3.4. L'atmosphère contrôlée (-O₂) :

L'oxygène cause l'oxydation et le rancissement des aliments. On peut donc diminuer le taux d'oxygène qui entre en contact avec les aliments emballés, en employant toutes sortes de moyens, tels que : l'utilisation des pompes à vide, le remplacement de l'air par un gaz inerte comme l'azote, l'ozonisation ...etc.

3.5. La pressurisation (Pressage isostatique):

La pression communiquée par un milieu liquide est isostatique (pression hydrostatique) : elle est identique dans toutes les directions de l'espace, en tout point de l'enceinte et du produit qui y est contenu.

A des températures proches de la température ambiante, la compressibilité des liquides est faible, même sous de très hautes pressions: le volume de l'eau, par exemple, diminue d'un tiers sous 10000 bars de pression.

En pratique, le produit à traiter est soumis pendant 5 à 30 minutes à des pressions comprises entre 4000 et 10000 bars.

Dans le cas d'un produit préemballé, qu'il soit solide ou liquide, l'emballage doit être flexible pour transmettre la pression extérieure. Chaque particule est ainsi soumise à une pression isostatique omnidirectionnelle.

Equipements : (Fig. 15)

Les installations de pressurisation utilisées par les industriels de l'agroalimentaire se composent d'une enceinte fermée par des obturateurs, d'une pompe de compression du fluide, d'un circuit haute pression, d'une unité de commande et de contrôle et, éventuellement, d'un dispositif de chauffage. La vitesse de montée en pression varie selon les caractéristiques de l'équipement. Pour les dispositifs fonctionnant avec une pompe, elle est généralement de l'ordre de 2000bar/minute.

Les produits liquides, peuvent être envoyés bruts dans l'enceinte pour y être pressurisés, puis sont conditionnés de façon aseptique. Mais, généralement, les aliments à pressuriser sont conditionnés hermétiquement dans des emballages souples ou déformables (semi rigides).

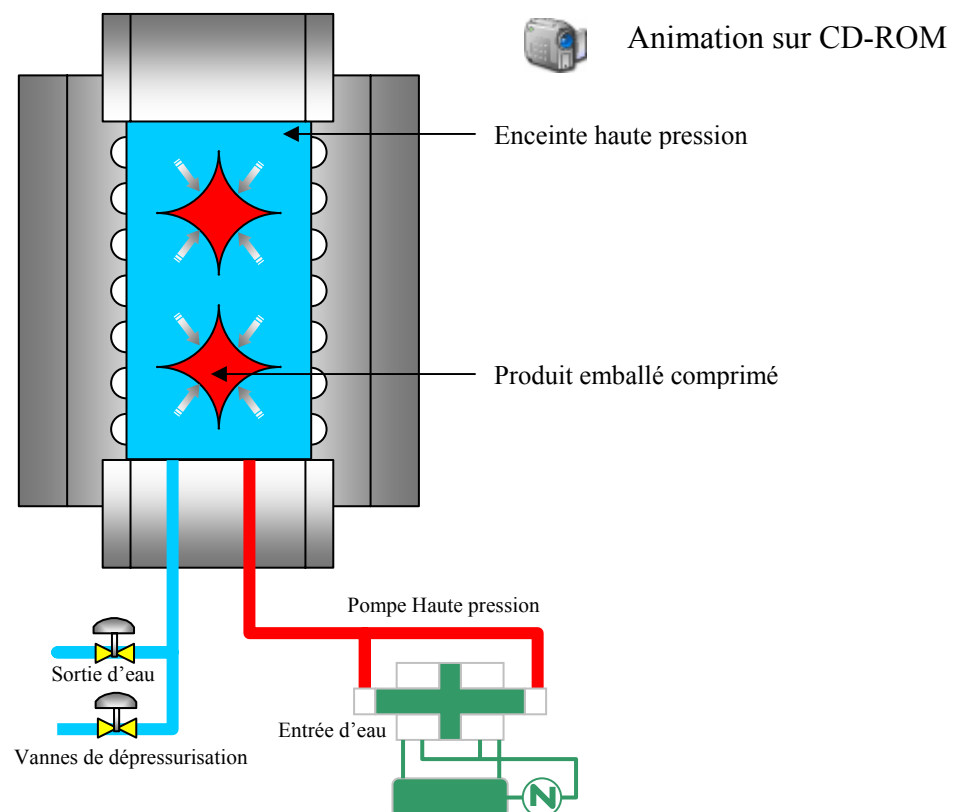


Figure 15 – Schéma d'une presse isostatique

En industrie agroalimentaire :

- Pasteurisation à froid de jus de fruits, compotes, salades, ovoproduits.
- Augmentation de la durée de conservation des produits frais.
- Texturation de produits contenant des protéines.
- Dénaturation de protéines pour créer de nouveaux produits, améliorer la digestibilité.
- Gélification.
- Activations ou désactivations enzymatiques.

Performances

- Faible coût énergétique (chauffage inutile ou limité).
- Action sur les liaisons chimiques faibles (pas de produits de dégradation).
- Amélioration des qualités organoleptiques (arômes exacerbés).
- Destruction de micro-organismes contaminants (salmonelles, coliformes, streptocoques, staphylocoques, listeria ...).
- Modulation d'activités enzymatiques (activations ou désactivations sélectives).



Pour les dispositifs fonctionnant avec une pompe, la pression est généralement de l'ordre de 2000 bar/minute. Les produits liquides, comme les jus de fruit par exemple, peuvent être envoyés bruts dans l'enceinte pour y être pressurisés, puis ils sont conditionnés aseptiquement. Mais, généralement, les aliments à pressuriser sont conditionnés hermétiquement dans des emballages souples ou déformables (semi rigides). Il n'est pas nécessaire d'employer des plastiques ayant des caractéristiques mécaniques particulières : un simple sachet de polyéthylène peut être utilisé sous une pression de 7000 bar.

Néanmoins, l'emballage, s'il est semi rigide (type barquette), doit être bien rempli car l'air étant beaucoup plus compressible que l'aliment, il y a, lors de la pressurisation, une déformation plus importante là où se trouve le gaz, ce qui peut

entraîner un déchirement. L'emballage doit simplement être adapté au produit traité (barrière à l'eau, aux gaz ...) pour une bonne conservation de celui-ci.