

Québec, le 20 mai 2022

Objet : Demande d'accès aux documents

N/Réf : 2022-05-09-013

Monsieur,

En réponse à votre demande d'accès aux documents reçue par courriel le 9 mai dernier, vous trouverez ci-joint les informations détenues par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, concernant le document intitulé « Procédés et pratiques innovantes pour la réduction des additifs alimentaires ».

Conformément aux articles 51 et 135 de la Loi sur l'accès, aux documents des organismes publics et sur la protection de renseignements personnels (chapitre A-2.1), ci-après « Loi sur l'accès », nous vous informons que vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information dans les trente (30) jours de la présente décision. Vous trouverez ci-joint les explications relatives à l'exercice de ce recours.

Pour toute information, vous pouvez contacter madame Edith Couture, adjointe à la responsable de l'accès à l'information, par courrier électronique à accesinformation@mapaq.gouv.qc.ca.

Veuillez recevoir, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Marie-Odile Koch
Secrétaire générale et directrice de la coordination ministérielle
Responsable de la Loi sur l'accès

**Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection
des renseignements personnels**
(Chapitre A-2.1)

AVIS IMPORTANT

Par souci d'équité envers tous les demandeurs, **depuis le 1^{er} avril 2017**, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation applique de façon intégrale le Règlement sur les frais exigibles pour la transcription, la reproduction et la transmission de documents et de renseignements personnels (chapitre A-2.1, r. 3), pour toute demande de documents comportant 150 pages et plus et ce, sans regard du mode de transmission exigé par le demandeur. Pour plus de détails, consultez le mapaq.gouv.qc.ca/accesinformation.

Article 51

Lorsque la demande est écrite, le responsable rend sa décision par écrit et en transmet copie au requérant et, le cas échéant, au tiers qui a présenté des observations conformément à l'article 49.

La décision doit être accompagnée du texte de la disposition sur laquelle le refus s'appuie, le cas échéant, et d'un avis les informant du recours en révision prévu par la section III du chapitre IV et indiquant notamment le délai pendant lequel il peut être exercé.

Article 135

Une personne dont la demande écrite a été refusée en tout ou en partie par le responsable de l'accès aux documents ou de la protection des renseignements personnels peut demander à la Commission de réviser cette décision.

Une personne qui a fait une demande en vertu de la présente loi peut demander à la Commission de réviser toute décision du responsable sur le délai de traitement de la demande, sur le mode d'accès à un document ou à un renseignement, sur l'application de l'article 9 ou sur les frais exigibles.

Ces demandes doivent être faites dans les trente jours qui suivent la date de la décision ou de l'expiration du délai accordé par la présente loi au responsable pour répondre à une demande. La Commission peut toutefois, pour un motif raisonnable, relever le requérant du défaut de respecter ce délai.



Procédés et pratiques innovantes

pour la réduction des
additifs alimentaires dans
les aliments transformés

Octobre 2021



INAF

INSTITUT SUR LA
NUTRITION ET LES
ALIMENTS FONCTIONNELS



UNIVERSITÉ
LAVAL

Équipe de réalisation

Marie Verheyde, M.Sc.

Iris Dussault-Chouinard, M.Sc.

Marie-Pascale Gagné, M.Sc.

Benoit Blanchet

Ronan Corcuff, M.Sc.

Service de soutien à l'innovation,
Institut sur la nutrition et les aliments fonctionnels (INAF)
Université Laval

Alain Doyen, Ph.D.

Professeur, Département des sciences des aliments,
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval
Directeur scientifique par intérim de l'INAF,
Directeur scientifique du Service de soutien à l'innovation

Avec l'aimable participation de :

Valérie Orsat, Ph.D.

Professeure, Département du génie des bioressources,
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement, Université McGill
Chercheure membre de l'INAF,
Vice-doyenne aux affaires étudiantes

Sergey Mikhaylin, Ph.D.

Professeur, Département des sciences des aliments,
Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval
Chercheur membre de l'INAF,
Co-directeur du laboratoire de durabilité alimentaire (EcoFoodLab)

Québec 

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce à la participation financière du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) dans le cadre de la Politique gouvernementale de prévention en santé (PGPS) du gouvernement du Québec.

Table des matières

Mise en contexte

Les stratégies



Les procédés membranaires
Les hautes pressions hydrostatiques
L'homogénéisation
Les champs électriques pulsés
Les ultrasons
Les micro-ondes
La lumière pulsée
Les procédés émergents : torche à plasma et détente instantanée contrôlée



Les alternatives naturelles aux additifs alimentaires



Conditionnement, emballages et modes de commercialisation

Synthèse

Conclusions et recommandations

Mise en contexte

Dans le cadre de la Politique gouvernementale de prévention en santé (PGPS), le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) souhaite identifier et documenter les procédés et les pratiques alternatives permettant d'envisager des solutions technologiques qui s'inscrivent dans la tendance de simplification des listes d'ingrédients et de naturalité des aliments (« clean label ») afin de les relayer auprès de l'industrie de la transformation alimentaire. À cet égard, le MAPAQ a octroyé à l'Institut sur la nutrition et les aliments fonctionnels (INAF) de l'Université Laval, le mandat de réaliser un document de transfert de connaissances sous forme de fiches techniques, relatant les informations scientifiques et technologiques sur les procédés et solutions innovantes permettant la réduction de l'utilisation des additifs alimentaires dans les aliments transformés.

Selon Santé Canada, « un additif alimentaire est toute substance chimique ajoutée à un aliment lors de la préparation ou avant l'entreposage, et qui s'intègre à celui-ci ou en modifie les caractéristiques pour l'obtention de l'effet technique désiré ». Il est important de rappeler qu'une validation de l'absence d'effets préjudiciables potentiels pour la santé du consommateur a été réalisée pour chaque additif et aux doses maximales autorisées dans l'aliment par Santé Canada. Néanmoins, les débats et les controverses actuels concernant l'innocuité des additifs alimentaires ont modifié leur perception par les consommateurs. En effet, ces derniers sont de plus en plus attentifs et exigeants en ce qui concerne la liste des ingrédients composant les produits alimentaires. Les consommateurs recherchent aussi davantage de produits avec des listes d'ingrédients courtes, compréhensibles et proches du « fait maison », ce qui restreint implicitement la présence d'additifs alimentaires dans la formulation d'un aliment transformé adapté aux tendances de marché actuelles. Cette tendance, connue sous le terme de naturalité ou *Clean label*, est une notion complexe qui présente plusieurs significations. À titre d'exemple, il peut s'agir d'un produit positionné comme étant biologique, ou ayant été élaboré suivant une méthode de production dite « naturelle » et/ou étant exempt d'ingrédients et d'additifs dits « artificiels ». Néanmoins, la désignation de naturalité qui est la plus souvent utilisée est attribuée à un aliment en fonction de la présence ou de l'absence de certains ingrédients, tels que les additifs, ajoutés dans la formulation alimentaire.

Dans l'optique de répondre aux attentes des consommateurs et aux nouvelles tendances de consommation, plusieurs innovations ont été développées durant les dernières décennies afin de remplacer, limiter, voire supprimer, l'utilisation d'additifs dits non naturels dans les formulations alimentaires. Cependant, ces finalités sont très complexes à atteindre en lien avec les multiples rôles cruciaux des additifs dans le maintien de l'innocuité des aliments et de leurs caractéristiques sensorielles, organoleptiques et techno-fonctionnelles. Il est également nécessaire d'étudier et d'intégrer d'autres critères additionnels reflétant la réalité de l'utilisation des additifs en industrie tels que les aspects technico-économiques et réglementaires et leur disponibilité et applications à l'échelle industrielle. Néanmoins, et afin de répondre à ces enjeux, plusieurs avancées majeures en recherche fondamentale et appliquée ont permis le développement d'alternatives efficaces et économiquement viables aux additifs alimentaires pour le secteur de la transformation des aliments. D'autres stratégies, davantage au stade de recherche et développement, présentent également un potentiel intéressant à court et moyen terme afin d'offrir des solutions innovantes au secteur alimentaire en lien avec les défis liés aux additifs.

Dans ce contexte, le présent rapport vise à mettre l'emphase sur les procédés technologiques, courants ou émergents, et leur potentiel de faire partie d'une solution pour limiter ou remplacer l'intégration d'additifs dans les aliments. Un complément d'informations sur les solutions potentielles est apporté par une mise à jour des axes de développement des solutions d'ingrédients naturels et de certaines stratégies de conditionnement ou de pratiques de commercialisation. Pour chacune de ces solutions, l'ensemble des informations les plus pertinentes pour les acteurs de la transformation alimentaire y sont synthétisées.

Le présent rapport vise à mettre l'emphase sur les procédés technologiques, courants ou émergents, et leur potentiel de faire partie d'une solution pour limiter ou remplacer l'intégration d'additifs dans les aliments.

Les informations colligées dans ce rapport émanent d'une analyse de la littérature scientifique, technologique et commerciale récente, d'entrevues avec des fournisseurs d'équipements et de consultations auprès des experts.

Ces renseignements ne se veulent pas une revue exhaustive des caractéristiques et des applications de chaque stratégie, mais davantage une source d'informations pratiques et suffisantes pour juger de l'intérêt potentiel de l'une ou l'autre de ces stratégies. Des informations sur des fournisseurs et centres de services accessibles au Québec permettront au transformateur alimentaire d'approfondir son analyse d'opportunités dans son objectif de réduire la présence de certains additifs dans son propre contexte de production. Finalement, ce document conclut par une interprétation des différentes solutions proposées pour en faire émerger des recommandations qui pourront être utilisées comme outil d'aide à la décision pour le secteur de la transformation des aliments.

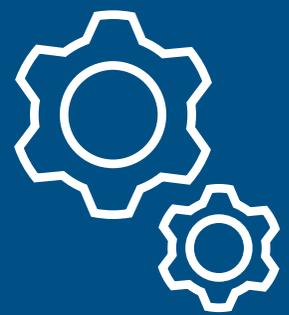
Le contenu de ce rapport est élaboré sous formes de fiches synthèses accessibles et pratiques destinées à la consultation par les acteurs de la transformation alimentaire au Québec.

Québec 

Un programme d'aide financière est disponible, via le Programme Alimentation santé, pour les entreprises qui souhaiteraient utiliser ces procédés dans l'optique de réduire l'utilisation des additifs alimentaires (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Les stratégies

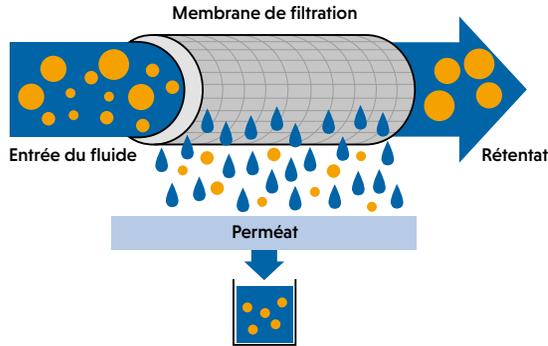
PROCÉDÉS technologiques



Principe

Les procédés de filtration membranaire permettent la séparation physique des constituants d'une matrice alimentaire à travers une membrane semi-perméable sous l'effet d'un gradient de pression. Plus spécifiquement, la sélectivité de la séparation des espèces du fluide alimentaire est déterminée par les caractéristiques physico-chimiques des différents constituants à séparer ainsi que par la taille des pores et les propriétés de surface de la membrane. La microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse font partie de ces procédés membranaires non-thermiques fonctionnant en continu.

Schéma général du procédé



Passage du fluide alimentaire à travers une membrane de filtration.

Images du procédé



Système de filtration d'échelle pilote. Source : Synder Filtration synderfiltration.com



Membranes de filtration. Source : Synder Filtration synderfiltration.com

Conditions opérationnelles

Typiquement, un procédé de filtration membranaire est composé d'une cuve contenant la solution à filtrer et d'une pompe pour acheminer le liquide au module membranaire. Le module membranaire peut contenir une ou plusieurs membranes de filtration. Sous l'effet de la différence de pression de part et d'autre de la membrane, appelée pression transmembranaire, les espèces qui sont plus petites que les pores de la membrane la traversent et sont recueillies dans le perméat, alors que les espèces plus grosses que les pores sont retenues et sont concentrées pour former le rétentat. Le rétentat est recirculé dans le système jusqu'à l'atteinte du niveau de concentration requis.

Paramètres opératoires distinctifs des différents procédés membranaires

Procédé	Taille des pores de la membrane	Pression d'opération (bar)	Espèces retenues par la membrane
Microfiltration	> 0,1 µm (entre 0,7 et 1,4 µm pour retenir les micro-organismes et les spores)	0,1 - 2	Bactéries, spores, globules de gras, solides en suspension, cellules, fibres, amidon
Ultrafiltration	2 nm - 0,1 µm	1 - 10	Polysaccharides, protéines, tannins
Nanofiltration	1 - 2 nm	15 - 30	Composés aromatiques, sucres, acides organiques, polyphénols, minéraux complexes
Osmose inverse	< 1 nm	30 - 60	Ions monovalents

- ✓ **Aliments pouvant être traités** : aliments sous forme liquide;
- ✓ **Température d'opération** : généralement entre 4 et 50 °C. Le choix de la température d'opération est un compromis entre 1) éviter la zone de croissance bactérienne 2) améliorer les flux de perméation (débit d'écoulement du perméat) et donc l'efficacité du procédé en raison de la diminution de la viscosité de l'aliment à température croissante et 3) limiter la destruction des composés thermosensibles;
- ✓ **Configuration membranaire** : spiralee, fibre creuse, tubulaire et module plan;
- ✓ **Type de matériel membranaire** : polymères organiques (polysulfone, acétate de cellulose, polyamide, etc.) ou céramiques;
- ✓ **Facteurs affectant la performance de séparation des constituants** : taille des pores de la membrane, matériel et configuration membranaire, structure des composés à séparer.

Maturité technologique et commerciale

Le procédé est mature et disponible à l'échelle commerciale. Une large gamme de systèmes dimensionnés et configurés sur mesure et de membranes de filtration est disponible selon les besoins et les applications visées par le transformateur alimentaire.

Statut réglementaire au Canada

Les procédés membranaires sont autorisés au Canada.

Applications alimentaires

Principales applications des quatre types de procédés membranaires

Applications	MF	UF	NF	OI
Produits laitiers liquides, dont le lait écrémé de consommation et le lait de fromagerie	Retrait des bactéries (taille de pores entre 0,7 et 1,4 µm); Concentration des caséines (taille de pores à 0,1 µm)	Concentration des protéines du lactosérum et des caséines	Concentration du lactose	Concentration du lait, du lactosérum et du lactose
Jus de fruits et de légumes	Élimination des solides en suspension lors de la clarification; Retrait des micro-organismes (Pasteurisation à froid)	Élimination des protéines en suspension, des pectines et résidus pectiques, de l'amidon	Déminéralisation	Concentration par retrait d'eau
Produits alcoolisés, dont le vin et la bière	Élimination des solides en suspension; Retrait des bactéries et des levures	N/A	Désalcoolisation	Concentration et désalcoolisation
Produits acéricoles	N/A	Clarification des solides et micro-organismes en suspension	Concentration et déminéralisation de l'eau d'érable	Concentration de l'eau d'érable
Eau de consommation	N/A	N/A	Retrait des minéraux complexes de l'eau	Traitement des eaux usées

Exemples d'applications commerciales :



Lait « PurFiltre » de Lactantia
Source : lactantia.ca



Nutrilait microfiltré de Saputo
Source : nutrilait.ca

Avantages

- ✓ Alternatives, pour certaines applications, aux traitements thermiques pour le retrait des bactéries et des spores de l'aliment, réduisant ainsi la destruction de composés thermosensibles ;
- ✓ Conservation des propriétés sensorielles, fonctionnelles et nutritionnelles de l'aliment, car les composés sont séparés dans leur forme native ;
- ✓ Économie énergétique en comparaison aux procédés thermiques ;
- ✓ Procédés automatisés, nécessitant ainsi peu de main-d'œuvre comparativement aux procédés traditionnels de filtration pour la clarification du jus, par exemple ;
- ✓ Processus de nettoyage et d'assainissement bien connus et maîtrisés ;
- ✓ Procédés applicables sur une large gamme de matrices alimentaires liquides.

Limites

- ✓ Procédés applicables seulement aux produits alimentaires liquides et peu visqueux ayant une faible teneur en matières en suspension ;
- ✓ Perte d'efficacité de la filtration au cours du traitement du fait de l'établissement d'un colmatage de la membrane de filtration, c'est-à-dire l'accumulation et l'adsorption de molécules à la surface de la membrane ou l'obstruction de ses pores. Pour rétablir les performances initiales de la membrane, un lavage chimique et/ou enzymatique des membranes est effectué, nécessitant un arrêt du traitement et donc une perte de productivité ;
- ✓ Nécessité de remplacer les membranes régulièrement, augmentant ainsi les coûts de maintenance ;
- ✓ Procédé de microfiltration ne remplaçant pas la pasteurisation du lait de consommation. Les exigences légales de la pasteurisation ne sont pas rencontrées par la MF, soit une réponse négative au test de phosphatase alcaline, enzyme qui n'est pas inactivée par la MF. Les laits microfiltrés doivent donc aussi être pasteurisés et réfrigérés.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ La clarification des jus de fruits permet de réduire la quantité d'**enzyme** nécessaire pour la dépectinisation et d'éliminer l'utilisation d'**agents de collage** (gélatine et bentonite) nécessaires dans les procédés de filtration traditionnels.
- ✓ La clarification permet la réduction, voire l'élimination d'**agents stabilisants** par le retrait des particules en suspension du liquide devenu miscible et sans risque de précipitation.
- ✓ Les procédés membranaires permettent la diminution de l'ajout d'**agents de conservation** par la réduction de la microflore pathogène et d'altération.
- ✓ La concentration des caséines dans le lait de fromagerie permet de diminuer l'ajout de **présure** et de **chlorure de calcium** pour la coagulation du lait en fromage.

Données technico-économiques

- ✓ **Investissement moyen** :
 - Équipement pilote : moins de 100000 \$;
 - Équipement industriel : jusqu'à plus de 2 M\$.
- ✓ **Entretien** : les membranes doivent être remplacées périodiquement. La fréquence de remplacement des membranes dépend de la fréquence d'utilisation, mais aussi du matériel de la membrane et du type de matrice alimentaire traitée. Comparativement aux membranes polymériques, les membranes en céramique ont une durée de vie plus élevée mais sont plus dispendieuses à l'achat. Les membranes céramiques ont une durée de vie de 5 à 10 ans alors que les membranes polymériques peuvent être utilisées pendant 1 à 4 ans.
- ✓ **Retour sur investissement** : rapide dépendamment des volumes traités, soit de quelques années seulement.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Qualtech (Québec) qualtech.ca info@qualtech.ca	GEA (Allemagne) gea.com
EBR (Québec) ebrequipment.com info@ebrequipment.com	Tetra Pak (Suisse, Europe, États-Unis) tetrapak.com
H2O Innovation (Québec) h2oinnovation.com info@h2oinnovation.com	Koch Separation (États-Unis) kochseparation.com
Alfa Laval (Canada) alfalaval.ca	Synder Filtration (États-Unis) synderfiltration.com sales@synderfiltration.com

Prestataires de service au Québec :

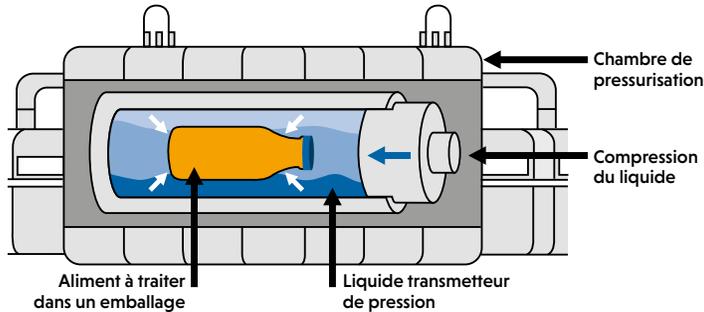
Laboratoire de technologie alimentaire (LTA) de l'Université Laval, Québec lta.fsaa.ulaval.ca	Centre de développement bioalimentaire du Québec (CDBQ), La Pocatière cdbq.net info@cdbq.net
Centre de recherche et développement de Saint-Hyacinthe (CRDSH), St-Hyacinthe agriculture.canada.ca aafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca	

Principe

Le procédé à hautes pressions hydrostatiques (HPH) dont l'acronyme le plus utilisé est HPP pour *high hydrostatic pressure processing* consiste à appliquer une pression extrême, uniforme et instantanée à une matrice alimentaire pendant quelques minutes à l'aide d'un liquide transmettant la pression. La pression élevée entraîne une modification de la structure des membranes cellulaires et des protéines, menant à la destruction des micro-organismes.

Il s'agit d'un procédé de pasteurisation non thermique, fonctionnant en mode discontinu (en lot).

Schéma général du procédé



Aliment traité par la technologie HPP.

Image du procédé



Système HPP industriel. Source : JBT Avure Technology jbt.com

Conditions opérationnelles

L'aliment est déposé dans son emballage final ou dans un contenant intermédiaire, puis est introduit dans la chambre de pressurisation. La chambre est remplie d'un liquide transmetteur de pression, généralement l'eau. La pression est augmentée par compression du liquide transmetteur de pression à l'aide d'une pompe et d'un intensificateur de pression. L'aliment est soumis à la même pression que le liquide de manière uniforme et instantanée, limitant ainsi la déformation de l'aliment.

- ✓ **Aliments pouvant être traités** : aliments liquides ou solides. Les aliments solides doivent avoir une forte teneur en eau;
- ✓ **Couple pression-temps appliqué** : généralement 400 à 600 MPa pendant 1 à 5 minutes;
- ✓ **Matériel d'emballage** : matériau souple pouvant résister à une certaine déformation liée à l'application de pressions hydrostatiques extrêmes, soit un plastique flexible et hermétique : polyéthylène (PE), polypropylène (PP) et polytéréphthalate d'éthylène (PET);
- ✓ **Température d'opération** : température réfrigérée (4-10 °C) ou ambiante.

Maturité technologique et commerciale

Le procédé est mature et disponible à l'échelle commerciale. Plusieurs modèles ont été développés (volume de la chambre de pression, automatisation) selon les besoins des acteurs du milieu industriel. L'implantation des systèmes HPP est en croissance au niveau international.

Statut réglementaire au Canada

- ✓ Procédé autorisé au Canada. Depuis décembre 2016, le procédé HPP n'est plus un procédé nouveau selon Santé Canada, car suffisamment de connaissances et de données appuient le fait que les HPP peuvent être appliquées sans impact majeur sur le produit fini.
- ✓ Cependant, une validation par Santé Canada est requise pour le traitement par HPP visant à prolonger la durée de vie des produits contenant du poisson et des fruits de mer.
- ✓ Au Canada, le producteur ou l'importateur des produits alimentaires traités par le procédé HPP demeure responsable de s'assurer que ces produits sont conformes à toutes les exigences de la *Loi sur les aliments et drogues* et de son règlement d'application.
- ✓ De plus, il incombe au producteur alimentaire de veiller à ce que ses matériaux soient appropriés pour un traitement HPP et qu'ils ne comportent pas de risques pour la santé des consommateurs conformément au titre 23 de la partie B du *Règlement sur les aliments et drogues*. Les compagnies d'emballage offrent un support important pour que l'ensemble de ces exigences soient respectées.

Applications alimentaires

- ✓ **Produits carnés** : bœuf haché, viandes transformées et charcuteries tranchées (p.ex. jambon, saucisses, bacon, rillettes, mousses et terrines);
- ✓ **Produits marins** : poissons et fruits de mer;
- ✓ **Produits végétaux** : purées et jus de fruits et de légumes, smoothies, salsa et guacamole;
- ✓ **Produits laitiers** : très peu d'applications commerciales actuellement excepté pour le lait et les fromages frais;
- ✓ **Ovoproduits** : produits transformés d'œufs.

Exemple d'application commerciale :



Jus de fruits et de légumes Impress
Source : alimentsimpress.com

Avantages

- ✓ Diminution de la charge microbienne des aliments (micro-organismes végétatifs et spores de levures et de moisissures) ;
- ✓ Traitement possible d'une gamme importante de matrices alimentaires liquides et solides ;
- ✓ Conservation des propriétés sensorielles (couleur et saveur), fonctionnelles et nutritionnelles de l'aliment traité, sauf exception (voir section « Limites » ci-après). Les vitamines et composés antioxydants, à titre d'exemple, demeurent intacts ;
- ✓ Processus de nettoyage et d'assainissement du système facilité ;
- ✓ Possibilité de recycler le liquide transmetteur de pression pour réaliser plusieurs cycles de pressurisation ;
- ✓ Traitement possible de l'aliment dans son emballage final, limitant fortement une recontamination du produit traité.

Limites

- ✓ Résistance des spores bactériennes aux niveaux de pressions appliquées à l'échelle commerciale ;
- ✓ Modification de l'apparence de certains produits alimentaires (couleur des produits carnés et produits marins frais, texture des produits riches en protéines) ;
- ✓ Accélération de l'oxydation des produits riches en acides gras insaturés (poissons gras par exemple) ;
- ✓ Produits traités en discontinu et non en continu ;
- ✓ Emballages souples nécessaires (le verre et le métal ne peuvent pas être utilisés) ;
- ✓ Investissement et coûts de maintenance importants.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ Des études ont démontré que le procédé permet de réduire l'utilisation du **sel** (NaCl) et des **phosphates** dans la viande transformée puisque 1) le procédé permet d'améliorer la durée de vie des produits carnés et 2) modifie la conformation des protéines myofibrillaires permettant d'améliorer leur capacité de rétention d'eau.
- ✓ Le traitement HPP permet d'inactiver une large gamme de micro-organismes pathogènes (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*) et d'altération (levures, *Pseudomonas*, bactéries lactiques), ce qui a pour effet d'augmenter la durée de vie des produits et de diminuer l'utilisation d'**agents de conservation** ou de sel.
- ✓ L'inactivation de certaines enzymes responsables de l'altération des jus de fruit (pectine méthylestérase et polyphénoloxydase), permet une extension de la qualité de ces produits et une diminution de l'utilisation d'**agents anti-oxydants**.

Données technico-économiques

- ✓ **Investissement moyen** : les coûts d'investissement d'un système industriel se situent entre 800000 \$ et 5 M\$, composé à 75-80 % du prix à l'achat de l'équipement, à 5-10 % en main-d'œuvre, 5-10 % en maintenance, 2-4 % en exploitation et 1-2 % en espace.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Hiperbaric High pressure
Technology (États-Unis)
hiperbaric.com

JBT Avure Technology
(États-Unis)
jbt.com
avureinfo@jbt.com

Kobelco (Japon)
kobelco.co.jp

Multivac (Irlande)
ie.multivac.com
info@ie.multivac.com

Prestataires de service au Québec :

Natural HPP, St-Hyacinthe
naturalhpp.com

Centre de recherche
et développement de
Saint-Hyacinthe (CRDSH),
St-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca

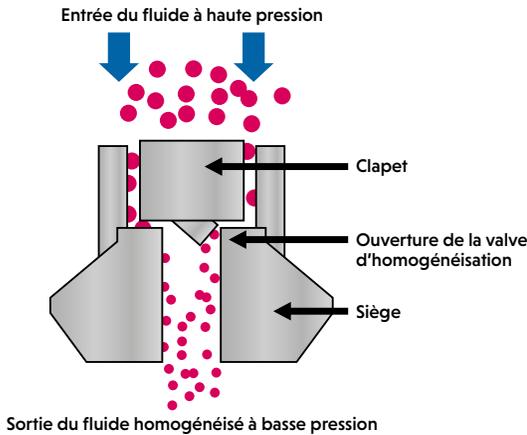
Centre de développement
bioalimentaire du Québec
(CDBQ), La Pocatière
cdbq.net
info@cdbq.net

Principe

L'homogénéisation est un procédé physique qui permet de diminuer et d'uniformiser la taille des particules suspendues dans une matrice alimentaire. Ce procédé est appliqué pour créer et stabiliser des suspensions (dispersions de particules dans un liquide) et des émulsions (matrices alimentaires composées de deux phases non miscibles). Les traitements d'homogénéisation à HPH_o et UHPH permettent également de diminuer la charge microbologique des aliments et d'améliorer leurs propriétés techno-fonctionnelles du fait des modifications de structures engendrées sur les protéines.

L'homogénéisation est un procédé non thermique généralement réalisé en continu.

Schéma général du procédé



Passage du fluide alimentaire à travers la valve d'homogénéisation.

Image du procédé



Homogénéisateur haute pression d'échelle industrielle. Source : gea.com

Conditions opérationnelles

Le système d'homogénéisation est constitué d'une pompe reliée à un intensificateur de pression qui force l'aliment liquide ou semi-liquide, sous l'effet de la pression appliquée, à passer à travers une mince ouverture, appelée valve d'homogénéisation. La valve est constituée du siège et du clapet d'homogénéisation et l'espace qui les sépare est de quelques micromètres de largeur. Les grosses particules sont donc fractionnées en très petites particules de l'ordre du micromètre ou du nanomètre sous l'effet de la combinaison de la force mécanique, de la turbulence, de l'impact et de la cavitation. Une deuxième valve optionnelle, de basse pression, peut être ajoutée pour limiter la réaggrégation des particules à la suite du passage dans la première valve.

- ✓ **Aliments pouvant être traités** : aliments sous forme liquide ou semi-liquide;
- ✓ **Pression appliquée** :
 - Homogénéisation conventionnelle : 20 à 50 MPa;
 - HPH_o : 50 à 300 MPa;
 - UHPH : 300 à 400 MPa.
- ✓ **Température d'opération** : les matrices alimentaires peuvent être traitées à température ambiante ou aux températures de réfrigération. Lors du traitement d'homogénéisation, une partie de l'énergie mécanique est convertie en énergie thermique, ainsi le procédé engendre une augmentation de la température du produit à traiter de 17-21 °C/100 MPa appliqué. Pour éviter une dégradation trop importante de l'aliment durant et suite au traitement, il est possible d'installer un système de refroidissement permettant un contrôle précis de la température d'entrée et de sortie de la matrice à traiter.
- ✓ **Facteurs influençant la performance du procédé** : le nombre de passages à travers la valve d'homogénéisation, la température de l'aliment, la géométrie des valves d'homogénéisation, la pression appliquée et les propriétés physicochimiques (densité, viscosité) et microbiologiques (charge microbienne initiale) du fluide alimentaire.

Maturité technologique et commerciale

L'homogénéisation conventionnelle est un procédé mature, disponible à l'échelle commerciale et bien implantée au Canada surtout en industrie laitière.

Les technologies HPH_o et UHPH sont disponibles principalement à l'échelle laboratoire et pilote. Des systèmes industriels sont disponibles à l'échelle commerciale depuis récemment. Une optimisation de ces systèmes est cependant nécessaire pour faciliter leur adaptation à l'échelle industrielle, notamment pour faciliter l'augmentation des débits et de la capacité de production.

Statut réglementaire au Canada

Une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par homogénéisation, HPH_o ou UHPH doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Applications alimentaires

- ✓ **Produits laitiers** : lait (la majorité des laits de consommation sont homogénéisés par homogénéisation conventionnelle), yogourt, crème, crème glacée ;
- ✓ **Produits végétaux** : jus de fruits, boissons végétales à base de soya, d'amandes, de riz, entre autres ;
- ✓ **Boissons alcoolisées** : vin et bière ;
- ✓ **Sauces** : vinaigrettes et mayonnaises ;
- ✓ **Ovoproduits** : blanc d'œuf, œuf entier liquide.

Exemple d'application commerciale :



Lait homogénéisé PurFiltre 3,25 % M.G. de Lactantia
Source : lactantia.ca

Avantages

- ✓ Amélioration de la stabilité physique d'une large gamme de produits alimentaires liquides ou semi-liquides en réduisant et en uniformisant la taille des particules de l'émulsion ou de la suspension;
- ✓ Réduction de l'intégration d'émulsifiants dans la formulation alimentaire permettant ainsi de diminuer les coûts liés à l'achat de ces ingrédients et d'améliorer l'acceptabilité par les consommateurs;
- ✓ Potentiel d'amélioration des propriétés techno-fonctionnelles des protéines, comme la solubilité, l'émulsification et les propriétés moussantes par les traitements HPH_o et UHPH;
- ✓ Effet négatif minimal sur les propriétés nutritionnelles et sensorielles des aliments;
- ✓ Extraction facilitée de plusieurs métabolites, principalement d'origine végétale, dans les aliments et augmentation de la bioaccessibilité, soit la disponibilité à l'absorption après l'ingestion, des composés actifs comme les polyphénols;
- ✓ Consommation d'énergie faible en comparaison aux procédés thermiques pour la destruction des micro-organismes.

Limites

- ✓ Résistance des micro-organismes végétatifs d'altération et pathogènes dans les aliments traités par l'homogénéisation standard (20-50 MPa), contrairement à l'HPH_o et l'UHPH qui permettent de les inhiber;
- ✓ Résistance des spores bactériennes à l'homogénéisation. Généralement, des pressions élevées (300-350 MPa) combinées avec l'application de températures supérieures à 75 °C sont nécessaires pour les inhiber;
- ✓ Potentiel d'augmentation de l'activité de certaines enzymes, dont des protéases;
- ✓ Modification des structures protéiques pouvant entraîner des changements non souhaités de texture dans l'aliment;
- ✓ Proportion importante de l'énergie utilisée perdue sous forme de chaleur;
- ✓ Quantité restreinte de fabricants et de modèles disponibles à l'échelle industrielle pour les unités d'HPH_o et d'UHPH;
- ✓ Technologie limitée aux produits liquides et semi-liquides.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ L'HPH_o et l'UHPH réduisent la charge microbienne, inactivent certaines enzymes et certains virus en raison des changements structuraux des protéines, de l'altération et la destruction des membranes cellulaires et de l'augmentation de la température induite par le procédé. Cela permet de réduire l'utilisation d'**agents de conservation** et de prolonger la durée de vie des produits.
- ✓ Les traitements d'homogénéisation permettent la diminution de l'usage d'**agents émulsifiants** et **stabilisants**, comme la lécithine, tout en conservant la qualité de l'émulsion.

Données technico-économiques

✓ Investissement moyen :

- Équipement laboratoire : 30000 \$ à 50000 \$;
- Équipement pilote allant jusqu'à 400 MPa et ayant une capacité de 42 L/h : 150000 \$;
- Équipement industriel : entre 150000 \$ et 3,5 M\$, dépendamment de la capacité de production et de la pression maximale applicable.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Avestin (Canada)
avestin.com
avestin@avestin.com

Microfluidics
(États-Unis et Canada)
microfluidics-mpt.com

BEE International (États-Unis)
beei.com
sales@beei.com

Gea (Allemagne)
gea.com

Stansted Fluid Power Ltd
(Royaume-Uni)
stanstedfluidpower.com

Prestataires de service au Québec :

Laboratoire de technologie
alimentaire (LTA) de
l'Université Laval, Québec
lta.fsaa.ulaval.ca

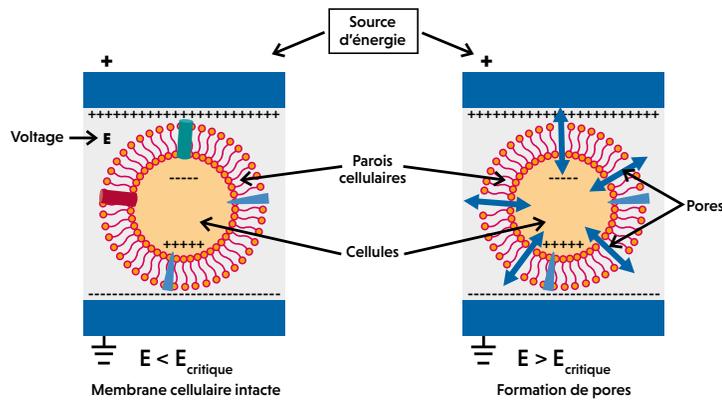
Cintech Agroalimentaire,
St-Hyacinthe
cintech.ca
info@cintech.ca

Centre de recherche
et développement de
Saint-Hyacinthe (CRDSH),
St-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca

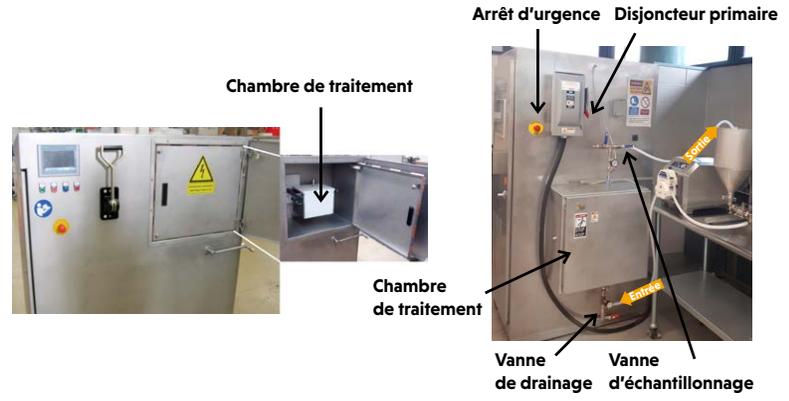
Principe

Le traitement par les champs électriques pulsés (CEP), ou *pulsed electric field* (PEF) en anglais consiste à appliquer un courant électrique pulsé (en alternance) de courte durée à un aliment. Plus précisément, l'aliment (liquide ou solide dans un liquide) est placé entre deux électrodes et est soumis à des impulsions électriques de haut voltage pendant une courte période. Cela provoque l'électroporation des membranes cellulaires, c'est-à-dire la formation de pores augmentant ainsi leur perméabilité voire leur destruction, lorsque le voltage appliqué est plus important que le potentiel critique transmembranaire. Le traitement par les CEP est un procédé non thermique pouvant fonctionner en continu ou en discontinu (en lot).

Schéma général du procédé



Images du procédé



Mécanisme de perméabilisation de la membrane cellulaire par des forces électro-compressives induites par un champ électrique externe.

Système de champs électriques pulsés, en lot. Source : DIL, Allemagne

Système de champs électriques pulsés, en continu. Source : Diversified Technologies inc., États-Unis

Conditions opérationnelles

Les CEP sont utilisés dans le domaine alimentaire principalement pour la destruction des micro-organismes (inactivation bactérienne et pasteurisation), l'extraction de composés et le pré-traitement des aliments à découper, à déshydrater ou à sécher, à frire, etc.

- ✓ L'équipement comporte un générateur d'impulsions électriques à haut voltage (voltage appliqué en alternance), un ou plusieurs condensateurs, un interrupteur et une chambre de traitement contenant les électrodes.
- ✓ Les **paramètres du procédé** à contrôler sont : la conductivité de l'aliment, la force du champ électrique, le type d'impulsion (monopolaire, bipolaire), le temps d'exposition et la température.
 - **Conductivité** : capacité à conduire le courant électrique selon la nature, la température et la teneur en sels minéraux de l'aliment. Ainsi, seuls les aliments ayant une valeur de conductivité assez importante pour permettre le passage du courant électrique (liquides, semi-liquides et certains solides) peuvent être traités aux CEP;
 - **Force du champ électrique** : 0,5 à 80 kV/cm;
 - **Durée de l'impulsion** : quelques nanosecondes (ns) à quelques millisecondes (ms);
 - **Fréquence de l'impulsion** : 0,1 à 1000 Hz.
- ✓ Le traitement par les CEP est un procédé fonctionnant en continu à l'échelle industrielle, contrairement aux systèmes d'échelle pilote qui fonctionnent généralement en lot.
- ✓ L'efficacité du traitement par les CEP sur la destruction des micro-organismes dépend de l'aliment à traiter (composition, pH, conductivité) et des micro-organismes présents (espèce, charge microbienne, stade de croissance).

Applications alimentaires

Principales applications des champs électriques pulsés

Applications	Destruction microbienne	Amélioration de la texture / stabilité	Amélioration du procédé d'extraction	Amélioration du procédé de séchage	Amélioration du procédé de friture	Amélioration du rendement
Pomme de terre (p.ex. chips, frites)	Réduction de la charge microbienne	Modification des tissus pour amollir la pomme de terre pour faciliter la découpe Développement de nouveaux produits plus flexibles aux formes innovantes	Goût, odeur, couleur intensifiés par relargage de composés tels les pigments etc.	N/A	Retrait de l'eau, facilitant la friture (temps, coût) Réduction de la formation d'acrylamide dans la transformation des chips Réduction de l'absorption de l'huile	Frites de taille plus importante Moins de pertes et chips moins cassantes et plus croustillantes
Fruits et légumes (p.ex. jus de fruits et légumes, smoothies, soupes, purées, huiles, chips)	Réduction de la charge microbienne et inactivation des spores Pasteurisation des liquides (ex : jus de pomme ou d'orange) qui augmente la durée de vie	Amélioration de la texture et de la stabilité par relargage par exemple de la pectine	Goût, odeur, couleur intensifiés par relargage de composés tels les pigments et les composés bioactifs Amélioration de l'extraction par pressage et autres (taux d'extraction, temps, coût)	Retrait de l'eau, facilitant le séchage (temps, coût)	Retrait de l'eau, facilitant la friture (temps, coût) Réduction de la formation d'acrylamide dans la transformation des chips	Moins de pertes et chips moins cassantes Préservation de la qualité
Vin	Contrôle de la fermentation	Amélioration de l'extraction des composés d'intérêt : polyphénols (ex : resvératrol) qui stabilisent la couleur, le goût et aident au bon vieillissement du vin		N/A	N/A	Amélioration de la productivité
Produits laitiers (p.ex. lait et yogourt)	Pasteurisation Préservation des probiotiques	N/A	N/A	N/A	N/A	Préservation de la qualité nutritionnelle, organoleptique et microbiologique
Café	Pasteurisation	N/A	Goût, odeur, couleur intensifiés par le relargage de composés	N/A	N/A	N/A
Viande	Réduction de la charge bactérienne	Modification des tissus pour les amollir pour attendrir la viande et amélioration de la saumure/marinade	N/A	N/A	N/A	Amélioration du rendement (temps, qualité)

Maturité technologique et commerciale

L'intérêt et l'implantation des CEP à l'échelle commerciale sont émergents, mais néanmoins croissants dans le monde. Plusieurs centaines de dispositifs pilotes et industriels sont en fonction, principalement en Europe, aux États-Unis, en Asie, et quelques-uns au Canada.

Ce procédé est bien établi commercialement à l'échelle industrielle dans le secteur de la pomme de terre. En revanche, étant coûteux, il est peu répandu dans les autres applications industrielles.

Statut réglementaire au Canada

Une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par CEP doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Avantages

- ✓ Inhibition/destruction des micro-organismes pathogènes et d'altération;
- ✓ Inactivation/activation de certaines enzymes;
- ✓ Amélioration de certaines propriétés techno-fonctionnelles de diverses matrices alimentaires du fait de la modification de la structure des macromolécules alimentaires, notamment les protéines et les polysaccharides, facilitant leur utilisation dans d'autres procédés en aval (découpe, extraction, séchage, friture, saumure/marinade, fermentation etc.);
- ✓ Amélioration des rendements et de la rentabilité de ces procédés en aval;
- ✓ Procédé sans élévation de température importante qui permet de préserver la qualité des produits, notamment les molécules thermolabiles et certaines propriétés nutritionnelles et organoleptiques (goût, couleur, odeur, fraîcheur);
- ✓ Temps de traitement court (de quelques µs à ms);
- ✓ Procédé économique en énergie et en eau pour certaines applications, notamment l'extraction, le ramollissement des tissus et le séchage.

Limites

- ✓ Procédé peu efficace contre les bactéries Gram+, les spores bactériennes et certaines enzymes;
- ✓ Certains aliments solides et les liquides visqueux plus difficiles à traiter; équipements particuliers adaptés à ces aliments en développement à l'échelle laboratoire et pilote seulement;
- ✓ Procédé peu voire non applicable aux matrices contenant des bulles d'air (difficulté de conduite du procédé et enjeux d'uniformité) qui en diminuent l'efficacité;
- ✓ Technologie coûteuse (investissement).

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ Les CEP réduisent la charge bactérienne en détruisant les micro-organismes d'un produit alimentaire. Cette amélioration de la qualité microbiologique des produits traités permet de réduire l'utilisation d'**agents de conservation**.
- ✓ Les CEP appliqués avant la fermentation du raisin permettent d'inactiver les micro-organismes non désirés ainsi que d'augmenter la productivité, substituant le **dioxyde de soufre** pour la conservation du vin.

Données technico-économiques

- ✓ **Investissement moyen** (données du fournisseur Food Physics) :
 - Équipement laboratoire : 125000 \$;
 - Équipement pilote – volumes de max. 10 L (lot) et max. 8 L/min (continu) : 230000 \$;
 - Équipement industriel – volumes 10000 L/h, 120 kW, 20 kJ/kg : 1,22 M\$.

Ce sont des prix approximatifs. Ces prix n'incluent pas la pompe et l'échangeur de chaleur.

- ✓ **Investissement moyen** (données du fournisseur ScandiNova) :
 - Équipement industriel – volumes 27 T/h de pommes de terre : 1,5 à 2,5 M\$.
- ✓ **Capacités moyennes** (données Food Physics / ELEA) :
 - Aliments liquides et semi-liquides (jus et smoothies, produits laitiers) : entre 50 L et 10000 L/h;
 - Aliments à sécher (fruits et légumes) et les frites (de pommes de terre) : entre 1 T/h et 60 T/h.
- ✓ **Coût de fonctionnement** :
 - 2 à 3 fois plus élevé qu'un traitement thermique mais seulement 20 à 30 % du coût d'un traitement HPP, pour la pasteurisation des aliments liquides.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Food Physics (États-Unis)
food-physics.com
info@food-physics.com
Installation et service assurés par une équipe expérimentée en Amérique du Nord
Partenaire d'ELEA, Allemagne, fournisseur d'équipement pour l'Europe centrale, l'Afrique et l'Asie

Heat and Control (États-Unis)
heatandcontrol.com
heatandcontrol.com/email
Installation et service assurés par une équipe de Heat and Control au Canada
Partenaire de ScandiNova Systems, Suède, fournisseur de générateurs d'impulsion électrique

PulseMaster (Pays-Bas-Allemagne)
pulsemaster.us
info@pulsemaster.us

PurePulse Technologies (Pays-Bas)
purepulse.eu
info@cw-pb.nl

Diversified Technologies Inc. (Pays-Bas)
divtecs.com
info@divtecs.com

Energy Pulse Systems (Portugal)
energypulsesystems.pt
energypulsesystems.pt/eps/contact-us

Prestataires de service au Québec :

Laboratoire de technologie alimentaire (LTA) - EcoFoodLab, Université Laval, INAF, Québec
lta.fsaa.ulaval.ca

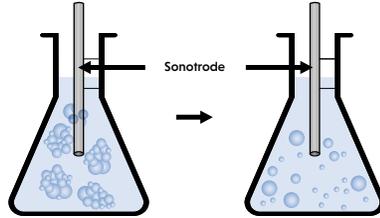
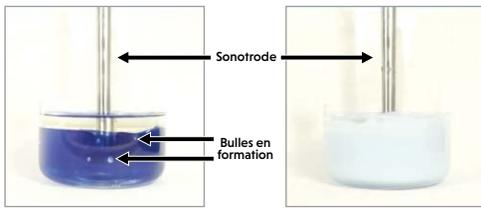
Centre de recherche et développement de Saint-Hyacinthe (CRDSH), St-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca

Cintech Agroalimentaire, St-Hyacinthe
cintech.ca
info@cintech.ca

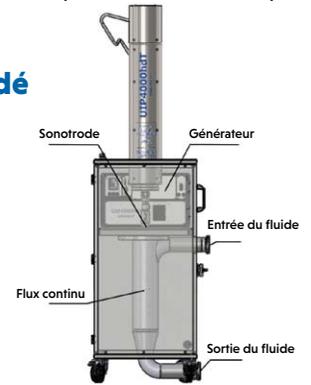
Principe

Le principe d'application des ultrasons dans les milieux liquides repose sur le phénomène de cavitation. Celui-ci consiste en la formation de micro-bulles dans un liquide sous l'effet d'une grande variation de pression. Plus spécifiquement, le système d'ultrasons composé d'un générateur et de sonotrode(s), va créer une onde de pression qui entraîne une alternance de plusieurs cycles de haute pression (compression) et basse pression (expansion). Des micro-bulles de gaz se développent alors, subissant des compressions et des expansions jusqu'à imploser, créant ainsi la cavitation. Ce phénomène génère localement des températures et des pressions importantes. Le traitement par ultrasons est un procédé non thermique pouvant fonctionner en continu ou en discontinu (en lot).

Schéma général du procédé



Images du procédé



Émulsification par ultrasons. Source : extrait vidéo de SiLabTec sur silabtec.com

Dispersion par ultrasons. Source : SiLabTec silabtec.com

Homogénéisateur à ultrasons – Modèle UIP2000hdT (2 kW), en lot avec agitation continue (à gauche) et Extracteur à ultrasons – Modèle UIP4000hdT (4 kW) haute performance, en flux continu (à droite). Source : Hielscher @www.hielscher.com 2021 (image de gauche hielscher.com et image de droite hielscher.com)

Conditions opérationnelles

Les ultrasons sont utilisés dans le domaine alimentaire principalement pour l'extraction de composés et pour des applications de mélanges tels que l'homogénéisation et l'émulsification ; cependant, d'autres applications sont également largement utilisées comme la réduction de viscosité, la pasteurisation, la dispersion, la cristallisation, le dégazage etc.

- ✓ La haute performance des ultrasons concerne presque exclusivement les liquides et les aliments pâteux.
- ✓ Les **paramètres du procédé** à contrôler sont : la fréquence, la puissance, l'amplitude, le temps, la température, la pression, la distance à parcourir entre le générateur et les éléments vibrants, et l'encombrement (contraintes d'équipement et du milieu, sa composition, l'application recherchée).
- ✓ L'**intensité de la fréquence** appliquée est généralement comprise entre 12 kHz jusqu'à quelques MHz, selon l'application recherchée, le type de produit et le fournisseur d'équipement :
 - Les ultrasons de basses fréquences (entre 12 et 100 kHz) favorisent les effets physiques de la cavitation dans le but de modifier les propriétés des produits.
 - Les ultrasons de hautes fréquences (> 100 kHz) favorisent les effets chimiques de la cavitation dans le but de favoriser la réactivité chimique.
- ✓ L'industrialisation de l'application des ultrasons est faisable en principe pour tout type de volume, à partir de quelques millilitres jusqu'à une centaine de millilitres. La production peut se faire en continu ou en lot, jusqu'à environ 150 L ; pour des volumes plus importants, il est recommandé de recourir à un procédé en flux continu.
- ✓ Le contrôle de la température, de la pression et du temps de contact est rendu possible grâce à des consignes opératoires pour un arrêt automatique.

Applications alimentaires

Principales applications des ultrasons

Applications	Extraction	Émulsification	Stabilisation	Homogénéisation	Pasteurisation	Cristallisation
Produits végétaux et marins (p.ex. fruits et légumes) (p.ex. algues)	Composés bioactifs (polysaccharides type pectine, protéines, lipides type acides gras, caféine, polyphénols, astaxanthine, vitamines etc.)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sauces et Condiments	N/A	Sauces, vinaigrettes, mayonnaises	N/A	N/A	N/A	N/A
Ovoproduits	N/A	Œufs entiers liquides	Œufs stabilisés garantissant leur durée de vie et qualités microbiologique, organoleptique et nutritionnelle	Œufs entiers liquides	Légère, des œufs liquides	N/A
Boissons (p.ex. jus, smoothies, purées)	Nutriments devenus bioaccessibles pour l'organisme, et composés contribuant à la saveur et à la couleur des produits traités	N/A	Sédimentation évitée par la dispersion des particules, viscosité (texture) modifiée par le relargage de la pectine dans le milieu	N/A	N/A	N/A
Produits sucrés (p.ex. crème glacée, miel, chocolat)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Accélération de la formation de cristaux (de glace, de gras et/ou de sucre) ou leur réduction (cristaux de sucre dans le miel et le chocolat), pendant le procédé de transformation
Produits carnés (p.ex. saucisses)	N/A	N/A	N/A	N/A	Bain aux ultrasons, diminuant la charge bactérienne et limitant l'oxydation des lipides	N/A

Maturité technologique et commerciale

Les ultrasons sont utilisés dans différents domaines d'applications au Canada et à l'international. Ils sont largement commercialisés avec succès à l'échelle industrielle pour l'extraction de composés phyto-chimiques bioactifs. Dans le secteur de la transformation alimentaire, les systèmes à ultrasons sont utilisés pour l'émulsification et l'homogénéisation de vinaigrettes, sauces et mayonnaises, sans ou avec une quantité réduite d'émulsifiants, par les industriels et les chefs, notamment aux États-Unis.

Statut réglementaire au Canada

Les ultrasons sont autorisés au Canada pour les applications d'extraction.

Cependant, une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par ultrasons doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Avantages

- ✓ Inhibition des micro-organismes pathogènes et d'altération;
- ✓ Inactivation/activation de certaines enzymes;
- ✓ Amélioration de certaines propriétés techno-fonctionnelles (pouvoir gélifiant et émulsifiant notamment) de diverses matrices alimentaires du fait de la modification de la structure des macromolécules alimentaires, notamment les protéines et les polysaccharides;
- ✓ Procédé assisté par ultrasons efficace (diminution du temps de traitement et de la consommation d'énergie, meilleur transfert de masse et donc meilleur rendement);
- ✓ Amélioration des rendements d'extraction des composés bioactifs (rentabilité améliorée et diminution des quantités de solvants potentiellement utilisés);
- ✓ Procédé induisant une faible élévation de température dans le produit, ce qui permet notamment de préserver les molécules thermolabiles et certaines propriétés nutritionnelles;
- ✓ Équipement peu imposant;
- ✓ Installation facilitée et procédé automatisé.

Limites

- ✓ Modifications des caractéristiques physico-chimiques (oxydation des acides gras insaturés), de texture (changement de viscosité), sensorielles (couleur, développement d'arômes non désirables) et nutritionnelles des matrices traitées du fait de l'impact du procédé sur les structures des macromolécules alimentaires et le développement de réactions entre différentes macromolécules;
- ✓ Paramétrage complexe;
- ✓ Coût d'entretien fréquent lié au phénomène d'érosion des équipements (partie inférieure des sonotrodes et des équipements en contact avec la cavitation) engendrée par la cavitation;
- ✓ Nécessité d'utiliser des équipements de protection individuelle et installation d'un caisson pour limiter le bruit.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ Les ultrasons induisent la lyse cellulaire par cavitation, diminuant ainsi la charge bactérienne dans un produit alimentaire. Cette amélioration de la qualité microbiologique des produits traités permet de réduire l'utilisation d'**agents de conservation**.
- ✓ L'acide ascorbique, un **agent de conservation** naturel aux propriétés anti-oxydantes et sensible à la chaleur, est préservé durant le procédé assisté par ultrasons, ce qui permet de réduire l'utilisation d'agents de conservation dans des produits à base de fruits et légumes.
- ✓ Le mélange par ultrasons améliore la capacité émulsifiante des systèmes émulsionnés et les stabilise, ce qui permet de réduire ou d'éliminer l'ajout d'**agents émulsifiants et stabilisants**; il en est de même pour les produits dispersés et homogénéisés (voir *Applications alimentaires*).
- ✓ La dispersion et la réduction de la taille des particules d'un ingrédient, comme les **gommes de xanthane et de guar**, par ultrasons assurent un mélange homogène dans le produit alimentaire, ce qui permet de rendre l'additif plus efficace avec une quantité réduite.

Données technico-économiques

- ✓ **Investissement moyen** (données du fournisseur Hielscher) :
 - Équipement laboratoire – volumes de quelques millilitres à 2 L (lot) ou de 10 à 400 mL/min (continu) : 6000 à 10000 \$;
 - Équipement pilote – volumes de 0,1 L à 20 L (lot) ou de 0,2 à 4 L/min (continu) : 23000 \$;
 - Équipement industriel – volumes de plusieurs litres à plus que 150 L (lot et continu) : 250000 \$.
- ✓ **Entretien** : une sonotrode en titane de grade alimentaire doit être changée lorsque abîmée (approx. 100 - 600 \$, données du fournisseur Hielscher).

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Sinaptec Ultrasonic (France)
sinaptec.fr
sinaptec@sinaptec.fr

Hielscher Ultrasonics
(Allemagne)
hielscher.com
sales@hielscher.com

Service des ventes
pour le Canada :
Hielscher USA, Inc. -
Administration
usa@hielscher.com

Distributeur pour le Canada :
Hielscher USA, Inc. -
Order Processing / Warehouse
order@hielscher.com

Installation et service assurés
par une équipe expérimentée
de Hielscher Allemagne

Prestataires de service au Québec :

Centre de recherche et développement
de Saint-Hyacinthe (CRDSH), St-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aafc.saint-hyacintherdc-crdsaint-hyacinthe.aac@canada.ca

Principe

Le procédé par micro-ondes repose sur la capacité de l'eau contenue dans les aliments, à absorber l'énergie des micro-ondes et à la convertir en chaleur. Plus spécifiquement, avec l'application de micro-ondes à la fréquence de 2450 MHz, les molécules d'eau présentes dans l'aliment s'agitent alors, et oscillent très rapidement (2,45 millions/s), libérant ainsi l'énergie thermique qui permettra de chauffer l'aliment. Typiquement, un système à micro-ondes est composé d'un magnétron (tube à électrons) qui émet un champ magnétique qui génère des micro-ondes dans une enceinte fermée (four). Les ondes émises se réfléchissent sur les parois métalliques de l'enceinte et rebondissent jusqu'à pénétrer dans l'aliment.

Les systèmes à micro-ondes sont des procédés thermiques pouvant fonctionner en continu ou en discontinu (en lot).

Images du procédé



Four à micro-ondes – Modèle 2000 series batch ovens, en lot. Source : AMTek Microwaves 4amtek.com



Four à micro-ondes – Modèle 4000 series tempering ovens, en continu. Source : AMTek Microwaves 4amtek.com



Four à micro-ondes – Modèle 4000 series tempering ovens, en continu. Exemple de produit en cours de traitement (tempérage). Source : extrait vidéo de AMTek Microwaves 4amtek.com

Conditions opérationnelles

Les systèmes à micro-ondes sont des procédés utilisés dans plusieurs applications alimentaires dont les principales sont la cuisson, le réchauffage et le tempérage, la pasteurisation et le séchage des aliments. Des applications plus spécifiques, telles que l'extraction de composés d'origine végétale (tels les composés phénoliques), ont également été documentées.

- ✓ La **fréquence** des micro-ondes à usage domestique est de 2450 MHz uniquement. En revanche, celle des ondes utilisées en industrie alimentaire peut être de 915 MHz (grande échelle) ou de 2450 MHz (petite échelle ou pilote) afin d'optimiser le rapport efficacité / coûts. Plus la fréquence est basse, meilleure est la pénétration dans les aliments.
- ✓ Les **paramètres de procédé** à contrôler sont : la fréquence, la puissance, le type d'aliments, le temps de traitement et le flux d'air à introduire.
- ✓ La plupart des aliments peuvent être traités par micro-ondes.
- ✓ Le procédé assisté par micro-ondes peut être appliqué sur des produits emballés. L'emballage de ces produits doit être transparent aux micro-ondes tel que les plastiques de type polycarbonate, polyéthylène, polypropylène etc.
- ✓ Les multiples applications qui utilisent les micro-ondes diffèrent selon le produit à traiter et sa forme : les lignes de tempérage sont conçues pour des produits plus grands, alors que pour la cuisson, les lignes sont dédiées aux produits de plus petits formats, portionnés (voir *Applications alimentaires*).
- ✓ Le tempérage assisté par micro-ondes permet de réchauffer des produits congelés (-18 °C) jusqu'à une température permettant la manipulation des produits (proche de 0 °C) pour des opérations ultérieures telles que le broyage ou le découpage.
- ✓ Il existe des équipements commerciaux à flux continu ou en lot, dont le dimensionnement est adaptable selon les besoins de la compagnie (volumes de production, espace disponible etc.).
- ✓ Les équipements sont en acier inoxydable, permettant un nettoyage complet et approprié.

Maturité technologique et commerciale

Les équipements commerciaux d'usage domestique et industriel sont répandus dans le monde.

Depuis les années 1990, l'équipement pour précuire le bacon est devenu très populaire du fait de sa rentabilité économique pour le transformateur industriel. En industrie, ce système de cuisson du bacon, et surtout le tempérage des produits animaux congelés (viandes, poissons), sont les applications les plus populaires. Cependant, certaines applications comme le séchage assisté par micro-ondes requièrent davantage de recherche et développement afin de démontrer leur viabilité économique et technico-commerciale.

Statut réglementaire au Canada

Depuis 2012, le traitement aux micro-ondes des aliments d'origine végétale pour les pasteuriser ou les chauffer est autorisé au Canada. Depuis 2018, le séchage partiel de légumes assisté par micro-ondes n'est plus considéré comme un procédé nouveau par Santé Canada, et donc, est autorisé.

Cependant, une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par micro-ondes doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Applications alimentaires

- ✓ Cuisson : **viandes** et **charcuteries** (p.ex. tranches de bacon, morceaux de bacon); **pommes de terre** et frites de pommes de terre; **craquelins** au fromage;
- ✓ Stérilisation et pasteurisation : **boissons** (p.ex. lait stérilisé, jus frais pasteurisé); **épices** et **pâtes pasteurisées**;
- ✓ Séchage : **pâtes alimentaires**, et **fruits** et **légumes** (p.ex. soya, chanvre, menthe);
- ✓ Tempérage : large gamme d'**aliments congelés** (p.ex. porc, bœuf, volaille, poisson, fruits et légumes, et produits de boulangerie).

Avantages

- ✓ Application du procédé par micro-ondes possible sur une très grande diversité de produits;
- ✓ Procédé applicable sur des produits emballés donc limitation des risques de recontamination microbienne lors du conditionnement;
- ✓ Procédé thermique permettant la diminution de la charge bactérienne et inactivation d'enzymes, permettant ainsi d'augmenter la sécurité alimentaire et la durée de vie des aliments traités;
- ✓ Procédé efficace : température atteinte plus rapidement et contrôlée précisément avec un meilleur transfert thermique, favorisant une réduction significative du temps de traitement et de la consommation d'énergie par rapport à un procédé conventionnel;
- ✓ Préservation des qualités organoleptiques (texture, goût et couleur) et nutritionnelles (macro- et micronutriments, composés bioactifs) par une distribution uniforme et contrôlée de la température;
- ✓ Installation et fonctionnement simple, et nécessité d'un seul opérateur pour opérer la machine et d'un assistant de production pour charger et décharger la ligne.

Limites

- ✓ Aliments secs dont l'humidité est très basse non adaptés pour le traitement par micro-ondes puisque sans eau, le traitement peut dégrader/brûler l'aliment;
- ✓ Matériaux d'emballage métallisés non compatibles avec un traitement aux micro-ondes;
- ✓ Dessèchement des extrémités des aliments traités;
- ✓ Stérilisation par micro-ondes difficile avec une sur-exposition dommageable pour l'aliment, à moins de travailler sous vide;
- ✓ Nécessité d'un nouvel équipement complet sur la ligne de production;
- ✓ Nécessité d'une haute expertise en ingénierie pour le service et le support.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ Le traitement thermique par micro-ondes réduit la charge bactérienne et inactive certaines enzymes, permettant de réduire l'utilisation d'**agents de conservation** et de prolonger la durée de vie des produits.

Données technico-économiques

- ✓ **Retour sur investissement** : dépendant du produit traité et des volumes de production et de ventes, généralement d'environ un an;
- ✓ **Système en continu** (données du fournisseur Ferrite Microwave Technologies) : ce système est recommandé pour la plupart des applications pour traiter de gros volumes. Il existe des fours en système continu pour le chauffage et le séchage de produits, ou encore des fours adaptés à la cuisson du bacon, très répandus dans le secteur (p.ex. un équipement industriel de cuisson de bacon peut traiter 800 kg/h de produit tranché). De plus, d'autres fours ont une plus grande capacité de traitement (p.ex. certains systèmes à micro-ondes capables de tempérer jusqu'à 7700 kg/h de produits);
- ✓ **Système en lot** (données du fournisseur Ferrite Microwave Technologies) : ce système convient mieux aux applications de tempéragé dont le débit horaire est inférieur à 900 kg/h, qu'un système en flux continu. Il est également mieux adapté s'il y a de nombreux produits différents à traiter ou si le débit est relativement faible. Il existe des fours pour le tempéragé de petit format capables de traiter de faibles quantités rapidement (p.ex. 22 kg de viande tempérés en 1 min) ou alors des fours de plus grande capacité (p.ex. 136 kg tempérés en 4 min).

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

AMTek Inc. (États-Unis)
4amtek.com
sales@4amtek.com
Installation et service assurés par une équipe californienne (États-Unis)

Ferrite Microwave Technologies (États-Unis)
industrialmicrowavesystems.com
info@ferriteinc.com
Service de support, de réparation et de maintenance assuré par une équipe expérimentée

Enwave (Canada)
enwave.net
info@enwave.net

Prestataires de service au Québec :

Centre de recherche et développement de Saint-Hyacinthe (CRDSH),
Saint-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aaafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca

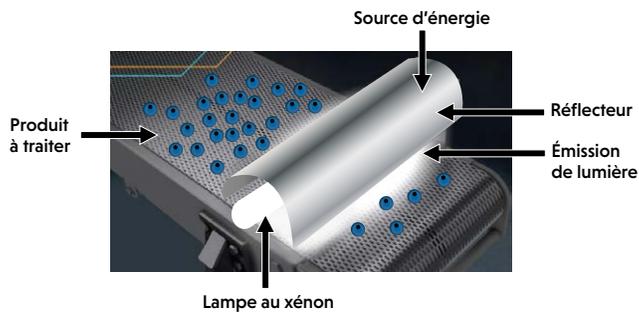
Cintech Agroalimentaire,
St-Hyacinthe
cintech.ca
info@cintech.ca

Principe

Le traitement par la lumière pulsée (ou encore lumière ultraviolet pulsée) repose sur l'application d'impulsions lumineuses, intenses et très rapides qui induisent une inhibition des micro-organismes. Plus précisément, le traitement consiste à appliquer un courant électrique transféré à une lampe au xénon qui délivre des impulsions lumineuses de haute intensité sous forme de flashes très rapides sur une surface.

Le traitement par lumière pulsée est un procédé non thermique fonctionnant en continu.

Schéma général du procédé



Principe de fonctionnement d'un système à lumière pulsée.

Image du procédé



Équipements de stérilisation par lumière pulsée (Décontamination de produits à gauche et décontamination de convoyeur à droite). Source : Xenon xenoncorp.com

Conditions opérationnelles

La lumière pulsée est utilisée dans le domaine alimentaire principalement pour la désinfection des emballages alimentaires, la décontamination des aliments et la stérilisation des surfaces pour réduire la charge microbienne. L'application de lumière pulsée sur des micro-organismes entraîne des changements réversibles ou irréversibles dans leur matériel génétique, engendrant ainsi une inactivation ou une destruction de la cellule microbienne. Ces phénomènes sont attribués aux mécanismes photochimiques, photothermiques (élévation de la température qui détruit les cellules) et photophysiques (altération des cellules) de la lumière. Par ailleurs, il a été démontré récemment que la lumière pulsée permettrait de réduire le potentiel allergisant de certains aliments tel que l'arachide, par dénaturation des composés allergènes comme les protéines.

- ✓ La lumière pulsée permet de traiter :
 - des aliments solides à surface lisse, liquides et semi-liquides ;
 - des surfaces lisses d'équipements de type convoyeurs, tables, et des emballages tels que des contenants transparents, des barquettes, des couvercles, des opercules, entre autres.
- ✓ L'activité de décontamination microbienne diffère selon les caractéristiques intrinsèques de l'aliment et la surface à décontaminer. En effet, la lumière pulsée est absorbée par le solide, et elle diminue exponentiellement à mesure qu'elle pénètre dans le solide. En revanche, la lumière pulsée pénètre mieux dans les liquides non-opaques.
- ✓ Les flashes lumineux ont une pénétration de quelques micromètres dans les solides ou les liquides opaques.
- ✓ Les paramètres du procédé sont :
 - **Spectre lumineux** : des ultraviolets (UV, 200 à 400 nm) au proche infrarouge (IR, 780 à 1000 nm) ; selon les équipements, le flash peut être composé d'environ 21 % d'ultraviolets, 30 % de lumière visible et 49 % d'infrarouge ;
 - **Intensité** : entre 0,01 à 50 J/cm² ;
 - **Temps de traitement** ;
 - **Nombre d'impulsions** : entre 1 et 20 impulsions par seconde ;
 - **Durée de l'impulsion** : quelques millisecondes (ms) ;
 - **Dispositif** : équipement dont le nombre de lampes, la distance et l'orientation des lampes par rapport au produit ; possibilité d'ajouter des réflecteurs de lumière ou de congeler la surface des produits avant traitement pour diffracter la lumière grâce aux cristaux de glace, limitant les zones d'ombre ou les zones difficilement atteignables par le flash.

Maturité technologique et commerciale

La lumière pulsée est utilisée à l'échelle commerciale aux États-Unis depuis 1996 et en Europe depuis plusieurs années pour la décontamination des produits alimentaires, la désinfection des emballages alimentaires et des surfaces pour réduire la charge bactérienne. Au Canada, cette technologie reste actuellement au stade de recherche et de développement en laboratoire.

Statut réglementaire au Canada

Une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par lumière pulsée doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Applications alimentaires

- ✓ Désinfection des emballages alimentaires (contenants vides en verre ou plastiques transparents, barquettes vides, couvercles, opercules etc.) ;
- ✓ Désinfection des surfaces en contact avec les aliments tel que les convoyeurs, tables en acier inoxydable etc. ;
- ✓ Décontamination des aliments (en surface seulement) :
 - **Fruits et légumes** : bleuets, confiture, produits végétaux tels que le cannabis, champignons (stade de recherche) ; exemple de Bonduelle Canada qui évalue l'efficacité de la technologie pour inhiber *Listeria* dans les légumes surgelés (pois, le maïs, les haricots verts et les carottes tranchées) ;
 - **Produits laitiers** : yogourt grec, yogourts dans lesquels de la crème, des fruits sont ajoutés, fromages fondus-tartinables ;
 - **Margarines** ;
 - **Produits carnés** tels que la viande (stade de recherche).

Avantages

- ✓ Destruction des micro-organismes pathogènes, d'altération et des parasites de surface; efficace sur les spores bactériennes ;
- ✓ Inactivation de certaines enzymes;
- ✓ Augmentation de la durée de vie des produits alimentaires emballés traités;
- ✓ Procédé sans élévation de température importante limitant les effets négatifs sur la qualité nutritionnelle (préservation des composés bioactifs thermolabiles notamment) et organoleptique des produits de fruits et légumes traités;
- ✓ Réduction du potentiel allergisant de certains aliments comme l'arachide;
- ✓ Procédé de décontamination/désinfection rapide (quelques secondes);
- ✓ Remplacement des produits chimiques pour la désinfection des emballages;
- ✓ Coût de fonctionnement et d'entretien peu élevés;
- ✓ Systèmes composés de modules compacts;
- ✓ Aucun résidu ni déchet chimique ou biochimique généré;
- ✓ Contrairement aux traitements UV, lampes au xénon et non au mercure.

Limites

- ✓ Décontamination superficielle :
 - la pénétration de la lumière pulsée est faible (quelques micromètres);
 - peu efficace si la contamination microbienne est trop importante car les micro-organismes présents à la surface protègent ceux situés plus en profondeur;
 - il existe des zones d'ombre et des zones non accessibles aux flashes si l'aliment n'est pas plat et lisse ou si les aliments sont collés ou entassés;
 - pour les produits liquides et les surfaces opaques, ou non transparents à la lumière des flashes.
- ✓ Modifications des caractéristiques organoleptiques pour certaines matrices alimentaires spécifiques (odeur de brûlé pour la volaille, développement de composés volatiles indésirables favorisé par l'oxydation des lipides);
- ✓ Nécessité d'utiliser des lunettes de protection individuelle pour limiter l'exposition aux UV.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ La lumière pulsée permet la destruction des micro-organismes, diminuant ainsi la charge microbienne d'un produit alimentaire, des emballages et des surfaces en contact avec les aliments. Cette amélioration de la qualité microbiologique des produits traités permet de réduire l'utilisation d'**agents de conservation** et de prolonger la durée de vie des produits alimentaires.
- ✓ La lumière pulsée permet également de supprimer le recours à certains produits chimiques pour la désinfection des emballages tels que l'acide peracétique. Ceci permet de réduire l'empreinte écologique mais également de diminuer les risques de résidus potentiels.

Données technico-économiques

- ✓ **Retour sur investissement** rapide, d'environ 3 ans, selon le type d'aliment traité et les volumes de production;
- ✓ **Exemples de cadences d'équipement industriel :**
 - Traitement de 1800 à 3600 emballages par minute selon le procédé;
 - Traitement 40000 à 90000 bouchons par heure.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseurs d'équipement :

Claranor (France)
claranor.com
claranor.com/fr/contact

Wek-tec Systems (Allemagne)
wek-tec.de
wek-tec.de/contact

Xenon Corp (États-Unis)
xenoncorp.com
info@xenoncorp.com

Prestataires de service au Québec :

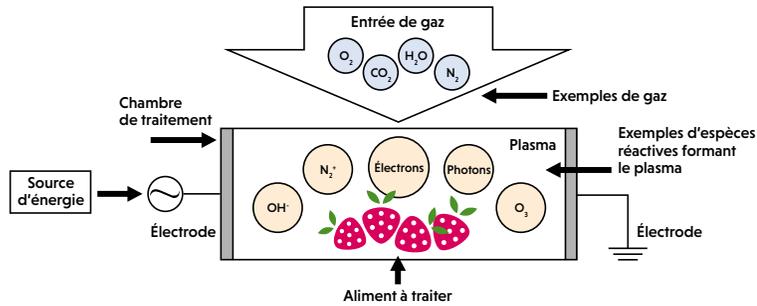
Centre de recherche
et développement de
Saint-Hyacinthe (CRDSH),
St-Hyacinthe
agriculture.canada.ca
aafc.saint-hyacintherdc-crd-saint-hyacinthe.aac@canada.ca

Cintech Agroalimentaire,
St-Hyacinthe
cintech.ca
info@cintech.ca

Principe

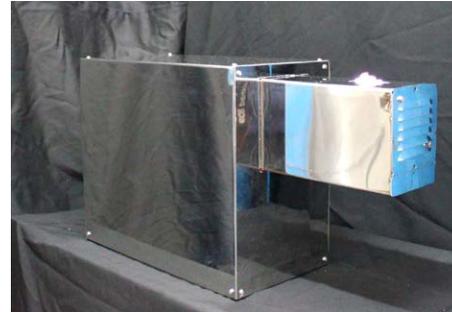
La technologie de torche à plasma, ou *Cold plasma* en anglais, est un procédé émergent dans l'industrie alimentaire. Le plasma est décrit comme étant le quatrième état de la matière, soit un gaz complètement ou partiellement ionisé contenant des espèces actives (ions, électrons, photons, radicaux libres, etc.) qui ont un potentiel de destruction des micro-organismes. Plus spécifiquement, le plasma est généré en excitant un gaz placé entre deux électrodes par des décharges électriques à température ambiante. Lorsque les espèces actives se recombinaient entre elles, l'énergie est libérée sous forme de lumière UV. La torche à plasma est un procédé non-thermique fonctionnant en mode discontinu.

Schéma général du procédé



Principe de la technologie de torche à plasma.

Image du procédé



Générateur de plasma à micro-ondes d'échelle laboratoire/pilote.

Source : Institute of fluid-flow machinery, Polish Academy of Sciences, Pologne

Conditions opérationnelles

Le système de génération de plasma inclut une source de courant électrique. L'énergie fournie entre deux électrodes dissocie les molécules de gaz porteur en espèces actives pendant une courte période de temps. L'aliment à traiter peut être placé directement entre les deux électrodes. Il peut aussi, dépendamment de sa taille et de sa forme, être placé en retrait de la source de génération du plasma, les espèces actives générées étant ensuite transportées vers l'aliment.

- ✓ **Aliments pouvant être traités** : aliments liquides et solides;
- ✓ **Température d'opération** : inférieure à 60 °C;
- ✓ **Pression d'opération** : basse pression (1-10 mTorr), moyenne pression (0,1-10 Torr) ou pression atmosphérique;
- ✓ **Nature du gaz** : O₂, N₂, air, H₂, N₂O, H₂O, H₂O₂, CO₂, SO₂ ou gaz nobles;
- ✓ **Facteurs influençant l'efficacité du traitement** : le voltage, la fréquence des impulsions électriques, le temps du traitement (variant généralement entre 3 et 120 secondes), la composition du gaz, la dimension et la géométrie du système, la surface de l'aliment et la charge microbienne initiale de l'aliment.

Maturité technico-commerciale et statut réglementaire au Canada

- ✓ Le procédé est au stade de recherche en laboratoire et donc n'est pas encore utilisé à l'échelle commerciale dans l'industrie alimentaire. Son utilisation future dépend de l'avancement des connaissances sur l'effet des espèces réactives et de leurs potentiels effets toxicologiques.
- ✓ Une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par torche à plasma doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Applications alimentaires

Des recherches à l'échelle laboratoire ont montré un intérêt à appliquer le procédé de torche à plasma sur les aliments suivants :

- ✓ Aliments liquides : lait et jus de fruits;
- ✓ Aliments prêts à manger : produits de viandes, de volailles et de poissons;
- ✓ Fruits et légumes frais;
- ✓ Épices et noix.

Avantages

- ✓ Inhibition des micro-organismes pathogènes et d'altération;
- ✓ Procédé rapide engendrant une faible augmentation de la température durant le traitement de la matrice limitant ainsi la destruction des nutriments thermosensibles;
- ✓ Potentiel de dégradation et donc réduction de la présence de résidus chimiques de pesticides à la surface des aliments;
- ✓ Technologie peu dispendieuse lorsque des gaz atmosphériques non purs sont utilisés;
- ✓ Procédé flexible pouvant être réalisé de différentes manières : directement sur l'aliment avant l'emballage ou dans l'emballage, peut aussi être appliqué pour décontaminer la surface des emballages alimentaires;
- ✓ Technologie permettant de contrôler la croissance des biofilms et de les éliminer par la destruction des polysaccharides de surface.

Limites

- ✓ Manque de connaissances sur les conditions opératoires et la qualité des produits alimentaires après traitement;
- ✓ Modifications possibles des propriétés organoleptiques et nutritionnelles des aliments traités : changement de coloration, destruction de vitamines et d'antioxydants;
- ✓ Efficacité du traitement antimicrobien réduite dans les produits à forte teneur en protéines;
- ✓ Accélération de l'oxydation des lipides, donc technologie non recommandée pour les produits à forte teneur en matières grasses;
- ✓ Décontamination en surface uniquement pour les aliments solides;
- ✓ Technologie dispendieuse si des gaz purs (azote, oxygène) ou des gaz nobles sont utilisés (hélium).

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ La fonctionnalité des enzymes est modifiée par la réaction entre les agents réactifs et les protéines, qui changent de structure. Certaines enzymes des fruits et légumes, dont la polyphénoloxylase (PPO), responsable du brunissement des fruits, sont donc inactivées. Cela permet de réduire l'utilisation d'**agents anti-oxydants**.
- ✓ La technologie permet la destruction de micro-organismes végétatifs et des spores par l'interaction chimique des espèces actives du plasma avec les membranes cellulaires et par les dommages causés par la lumière UV aux membranes et aux composés intracellulaires, ce qui permet de réduire l'utilisation d'**agent de conservation**.

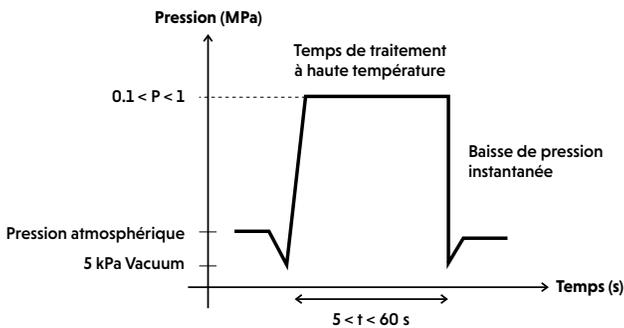
Fournisseur (liste non-exhaustive)

Prestataire de services au Québec : EcoFoodLab, Université Laval, INAF, Québec - Sergey.Mikhaylin@fsaa.ulaval.ca

Principe

Le procédé discontinu de détente instantanée contrôlée (DIC) permet la texturation, le séchage et la décontamination des aliments. La technologie est basée sur l'injection de vapeur à haute pression et la diminution rapide de la pression de l'air autour de l'aliment menant à une évaporation instantanée de l'eau. Les forces mécaniques engendrées pendant la baisse de pression permettent une expansion du produit menant à une texture poreuse et à l'accélération de son séchage. Le procédé entraîne une augmentation de la température de l'aliment pendant un temps très court.

Schéma général du procédé



Fonctionnement du procédé de détente instantanée contrôlée.
Source : ABCAR-DIC Process abcar-dic.com/fr/nos-technologies

Image du procédé



Système de détente instantanée contrôlée d'échelle pilote.
Source : ABCAR DIC Process

Conditions opérationnelles

L'aliment à traiter est placé dans une enceinte à pression atmosphérique. De la vapeur est injectée à haute pression pendant 10 à 60 secondes par une valve pneumatique après un court vacuum qui permet d'améliorer le contact entre la vapeur et le produit. L'aliment atteint alors une température de 100 à 150 °C. Par la suite, une baisse de la pression extrêmement rapide induite par l'ouverture instantanée de la valve à pression, résulte en l'évaporation de l'eau de l'aliment. Simultanément, le produit est refroidi instantanément à sa température initiale, évitant une dégradation thermique. Le système est aussi doté d'une ouverture pour recueillir le condensat.

- ✓ **Aliments pouvant être traités :** aliments solides;
- ✓ **Pression atteinte :** maximale : 1 MPa; minimale : 3-5 kPa;
- ✓ **Vitesse de la baisse de pression :** > 25x10⁶ Pa/s;
- ✓ **Température de l'aliment :** température ambiante ou de réfrigération.

Maturité technico-commerciale et statut réglementaire au Canada

- ✓ Le procédé a été développé et commercialisé en 2001 par la compagnie ABCAR-DIC Process. Principalement dimensionnés aux échelles laboratoire et pilote, des équipements d'échelle commerciale sont également disponibles et quelques-uns sont en opération à l'échelle internationale.
- ✓ Une évaluation préalable à la mise en marché d'un aliment traité par DIC doit être réalisée par Santé Canada, qui déterminera le statut de nouveauté de l'aliment en fonction des impacts majeurs aux niveaux toxicologique, nutritionnel et microbiologique sur le produit fini. Dans le cas où l'aliment serait classé dans la catégorie des aliments nouveaux, il incombe alors au transformateur d'apporter la preuve de la sécurité du traitement et de l'innocuité de l'aliment traité pour obtenir l'approbation de Santé Canada pour commercialiser le produit.

Applications alimentaires

- ✓ Fruits et légumes (ail, champignons, pomme, oignon, etc.);
- ✓ Épices fraîches ou déshydratées (persil, basilic, poivre, etc.);
- ✓ Grains de café, cacao, riz, légumineuses, fromage;
- ✓ Aliments pour animaux à base de viande et de fruits de mer.

Avantages

- ✓ Paramètres opératoires (pression et temps) facilement ajustables selon la nature du produit et du taux de décontamination microbiologique ciblé;
- ✓ Procédé utilisé pour la texturation des produits et l'extraction de composés. Les rendements d'extraction d'huiles pressées à froid peuvent être augmentés de 30 %;
- ✓ Préservation des propriétés sensorielles des aliments (saveur et couleur) et des composés thermosensibles (produit revient à sa température initiale instantanément);
- ✓ Réduction de l'allergénicité des diverses matrices alimentaires (arachides, soya et lupin) par l'effet de la chaleur et de la pression de vapeur menant à la dénaturation des protéines allergènes;
- ✓ Consommation énergétique faible comparativement aux procédés thermiques.

Limites

- ✓ Procédé appliqué directement à l'aliment, ne peut pas être appliqué à un aliment emballé;
- ✓ Procédé de séchage et de texturation qui s'applique aux matrices alimentaires solides seulement;
- ✓ Efficacité réduite du procédé dans les aliments très sucrés en raison de la cristallisation du sucre et de la texture collante;
- ✓ Procédé réalisé en mode discontinu uniquement et les équipements industriels actuellement disponibles ont une capacité maximale de 400 kg/h de produit sec.

Impact sur l'utilisation d'additifs et la qualité des matrices alimentaires traitées

- ✓ La DIC permet d'inhiber les réactions enzymatiques d'oxydation, réduisant ainsi l'utilisation d'**agents anti-oxydants**.
- ✓ Le procédé entraîne une réduction du nombre de micro-organismes végétatifs et des spores microbiennes, permettant la réduction de l'utilisation d'**agents de conservation**. En effet, le chauffage et le refroidissement extrêmement rapides génèrent un stress thermique aux micro-organismes et l'évaporation de l'eau engendre la rupture des membranes cellulaires.

Données technico-économiques

- ✓ **Investissement moyen :**
 - Équipement laboratoire et pilote, capacité de 5-40 kg/h : environ 150000 \$;
 - Équipement industriel discontinu, capacité de 100-400 kg/h : environ 375000 \$. Ces systèmes ont été améliorés au cours des dernières années : maintenance facilitée, mise en place du nettoyage en place.

Pour les entreprises qui souhaiteraient réduire l'utilisation d'additifs alimentaires, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) offre un programme d'aide financière le programme Alimentation santé (mapaq.gouv.qc.ca/pas).

Fournisseurs (liste non-exhaustive)

Fournisseur d'équipement :

ABCAR-DIC Process (France)
abcar-dic.com
contact@abcar-dic.com

Prestataires de service au Québec :

Cintech Agroalimentaire, St-Hyacinthe
cintech.ca • info@cintech.ca

Centre d'études des procédés chimiques
du Québec (CÉPROCQ), Montréal
ceprocq.com • ceprocqinfo@cmaisonneuve.qc.ca

SOLUTIONS alternatives naturelles



Mise en contexte

La forte tendance vers davantage de naturalité des produits alimentaires a été amorcée dès le milieu des années 2000, initiée par les fournisseurs d'additifs et d'ingrédients. Le haut niveau de complexité lié au remplacement d'un additif en lien avec les propriétés recherchées et les critères à atteindre (fonctions technologiques, absence d'impact organoleptique, stabilité dans le temps, bas coût, disponibilité, etc.) limite le portefeuille de solutions applicables industriellement. Néanmoins, il existe plusieurs solutions naturelles intéressantes qui peuvent constituer des choix à considérer dans la formulation de nouveaux produits. Cette fiche ne se veut pas une revue exhaustive de toutes les solutions naturelles disponibles, mais davantage un éclairage sur des grandes tendances de propositions et des applications en émergence.

Aspects réglementaires

Une alternative naturelle peut être considérée comme un additif alimentaire et non un ingrédient si elle est utilisée pour une fonction bien précise et non pour un apport nutritif. Que ce soit pour exploiter la proposition d'un fournisseur international ou saisir une opportunité d'innovation et de différenciation, cette démarche réglementaire pourrait être considérée par un transformateur alimentaire. Deux cas de figures peuvent se présenter :

1. Demande d'autorisation de mise en marché d'un nouvel additif, qui sera suivie par Santé Canada via un avis de proposition, une consultation publique et ultimement un avis de modification au Règlement sur les aliments et drogues (RAD) pour son incorporation à l'une des listes des additifs alimentaires autorisés.

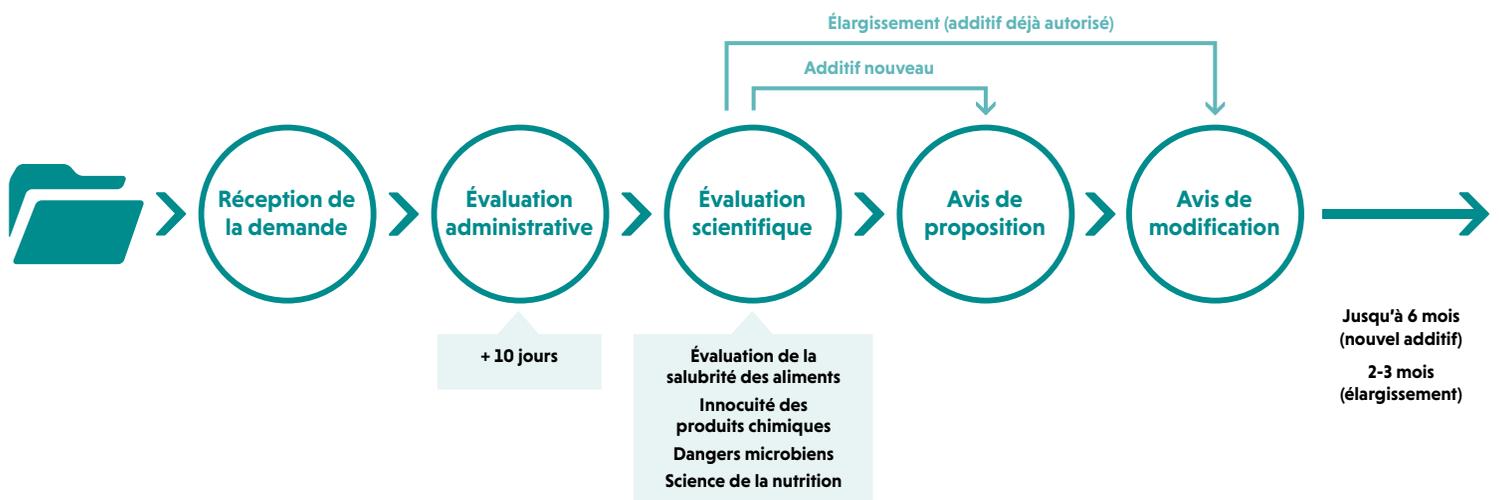
Exemple : utilisation de l'extrait de spiruline dans divers aliments (Avis de proposition, 9 janvier 2020 ; avis de modification, 4 septembre 2020). Source : Gouvernement du Canada canada.ca

2. Demande d'élargissement de l'utilisation d'un additif alimentaire autorisé (quant à ses applications, limites de tolérance ou provenance). L'avis de modification est publié en même temps que la consultation publique.

Exemple : utilisation de l'extrait de spiruline dans certains aliments non normalisés (avis de modification, 8 février 2021).

Source : Gouvernement du Canada canada.ca

Ces dernières années, plusieurs solutions naturelles ont ainsi été ajoutées aux listes des additifs alimentaires autorisés.



Démarche réglementaire pour l'utilisation d'un additif nouveau ou pour l'élargissement de l'utilisation d'un additif autorisé

Enzymes

Les enzymes alimentaires sont classées comme des additifs alimentaires au Canada mais comme des auxiliaires technologiques en Europe. Le nombre de demandes d'autorisations de mise en marché ou de modifications de la Liste des enzymes alimentaires autorisées auprès de Santé Canada est en forte augmentation ces dernières années.

Générées à la suite de fermentations microbiennes, elles constituent une origine naturelle et accessible économiquement. Bien que plusieurs micro-organismes utilisés à ces fins soient des organismes génétiquement modifiés, les enzymes produites par ceux-ci ne sont pas considérées comme tel.

Le secteur de la boulangerie est le principal bénéficiaire de l'utilisation d'enzymes dans le but d'améliorer le conditionnement de la pâte et d'éliminer l'utilisation de certains additifs émulsifiants (p.ex. DATEM, azodicarbonamide, mono- et di-glycérides), antioxydants (peroxyde de calcium, bromate), ou afin de faciliter la substitution du gluten. Pour ces applications, les enzymes utilisées sont des lipases, transglutaminases, hexose oxydases, β -amylases et aussi des mélanges sur mesure comme la combinaison de xylanase, de glucose oxydase et d'amyloglucosidase.

✓ **Exemples de fournisseurs d'enzymes alimentaires et leurs produits**, spécialisés ou non pour le secteur de la boulangerie : Lallemand - Essential® Fresh • Corbion - Pristine® • DuPont Nutrition & Biosciences - FIBERLine™ 306, ZymStar™ GOS • DSM-BakeZyme®, Panamore® • Brolite Products - 4010 • Cain Food Industries - EOX® powder, CLDC

Les produits à base de végétaux présentent également un intérêt dans le développement de solutions enzymatiques adaptées.

✓ Versilk™ de DuPont Nutrition & Biosciences, une protéase, contrôle, selon son fournisseur, la viscosité de breuvages fermentés, de yogourts et d'alternatives végétales sans recourir à des épaississants. Source : DuPont Nutrition & Biosciences dupontnutritionandbiosciences.com

Parmi les enzymes uniquement de sources végétales, la broméline (issue de l'ananas), la ficine (du figier) et la papaïne (de la papaye), sont des protéases hydrolysant les protéines, permettant par exemple l'amélioration de la tendreté de la viande. Elles sont également utilisées en microbrasserie ou en boulangerie (hormis la ficine).

Solutions microbiennes

Hormis leur utilisation dans des produits fermentés, certains micro-organismes (bactéries et levures) présentent un intérêt comme bases d'agents de conservation naturels. Leur étiquetage « cultures bactériennes » ou « extrait de culture bactérienne » offre la garantie d'un libellé compréhensible et non inquiétant pour le consommateur concerné. Il est possible de distinguer quatre groupes majeurs d'approches microbiennes :

- ✓ **Les cultures compétitrices** : composées surtout de bactéries lactiques, qui par leur présence et leur croissance – contrôlée – en surface de produits alimentaires (charcuteries, fromages), limitent la prolifération de microflore d'altération. Des levures vivantes peuvent aussi être appliquées sur des produits de boulangerie après cuisson.

Exemples de produits & fournisseurs :

 - Essential Fresh - Lallemand (Montréal, QC)
 - SafePro®, FreshQ® - Chr. Hansen
 - Holdbac® - DuPont Nutrition & Biosciences, Danisco
- ✓ **Les bactériocines** : fragments de protéines appelés peptides produits par des bactéries spécifiques, les bactériocines possèdent une action bactériostatique sur différentes espèces bactériennes pathogènes ou d'altération. Sont autorisées au Canada :
 - 1) **la nisine**, (approuvée par Santé Canada, avis de proposition 20/09/2017 ; avis de modification 9/02/2018) pour certains produits. Source : Gouvernement du Canada canada.ca
 - 2) **la pédiocine**, efficace contre *Listeria monocytogenes* et approuvée comme agent technologique. Source : Innodal innodal.com

Exemples de produits & fournisseurs :

 - Inneo - Innodal (Lévis, QC)
 - Chrisin™, BioSafe™ - Chr. Hansen
 - NovaGARD™ - DuPont Nutrition & Biosciences, Danisco
- ✓ **Les cultures vivantes et leurs bactériocines** : cette approche permet de combiner les aspects d'efficacité antimicrobienne rapide par l'action de la bactériocine et de contrôle de la croissance de micro-organismes d'altération par la présence de microflore.

Exemples de produits & fournisseurs :

 - BacM35™ - Fumoir Grizzly (Saint-Augustin-de-Desmaures, QC), pour le saumon et la truite fumés à froid prêts à consommer (agent de conservation C.1A, *Carnobacterium divergens* M35)
 - Micocin® - Griffith Foods Group, pour différents produits carnés (agent de conservation C.2, *Carnobacterium maltaromaticum* CB1)
 - BactoFerm™ B-SF-43 - Chr. Hansen, pour certains produits carnés sous-vide (agent de conservation L.1, *Leuconostoc carnosum* 4010)
- ✓ **Les bactériophages** : virus bactériens qui agissent spécifiquement envers une espèce pathogène ciblée; ils sont utilisés comme agent technologique car ils sont dégradés lorsque la bactérie infectée est elle-même détruite ; le spectre d'action est très ciblé mais très efficace envers certains pathogènes, notamment *Listeria monocytogenes* et salmonelles. Les produits alimentaires concernés sont les produits carnés, de la mer, laitiers et les fruits et légumes préparés.

Exemples de produits & fournisseurs :

 - Phagex™ - Handary S.A.
 - EcoShield PX et autres - Intralytix
 - PhageGuard - Microcos Food Safety B.V.

Catégories d'additifs alimentaires remplacés par des alternatives naturelles

Un nombre croissant d'extraits naturels est proposé sur le marché pour remplacer ou éliminer certains additifs alimentaires. Ces extraits naturels (acides organiques, peptides, polyphénols, caroténoïdes, polysaccharides, etc.) sont principalement générés à partir d'une matière première d'origine végétale suite à des étapes de séparation et purification de certains constituants, précédées ou non de fermentation. Hormis les matières premières végétales, il est important de mentionner le fort potentiel des algues et des champignons. Les applications concernent le remplacement de quelques catégories d'additifs alimentaires spécifiques du fait de leur présence généralisée dans les aliments transformés et des capacités technologiques des ingrédients naturels. Ces catégories sont présentées dans le tableau suivant.

Exemples d'alternatives naturelles aux additifs alimentaires d'origines végétale, animale et microbienne

Catégorie d'additifs alimentaires	Exemples d'alternatives		
	Origine végétale / algue	Origine animale	Origine microbienne
Agents de conservation antimicrobiens	Céleri Épices et huiles essentielles (romarin, cannelle, clou de girofle) Extraits (ail, tomate, agrumes)	Enzymes (lysozyme, lactoperoxydase), Polysaccharides (chitosan), Protéines (lactoferrine)	Cultures microbiennes Bactériocines Bactériophages Acides organiques Métabolites phénoliques
Agents antioxydants	Extraits de petits fruits (bleuets, fraises, mûres) Épices (romarin, safran, thym) Gingembre, thé vert, algues	N/A	Métabolites phénoliques issus de levures
Colorants	Purées-poudres-extraits/pigments de fruits et légumes (rocou, caroténoïdes, chlorophylle, ...) Certaines épices (curcuma, paprika) Sucre brun Algues (spiruline)	Carmin	β-carotène
Agents gélifiants, épaississants	Gommes (konjac, caroube, tara, guar, pectines) Fibres (agrumes, avoine, chicorée (inuline)) Amidons natifs Huiles (noix de coco, avocat)	N/A	Gommes (gellane)
Agents émulsifiants, stabilisants	Graines de chia, de lin Souchet comestible (« tiger nut ») Lécithine de tournesol, de soya Protéines de légumineuses (pois, lentilles)	Œufs entiers, jaunes d'œufs	N/A
Édulcorants	Dattes, pulpe de cacao, sucre de coco Sirops (agave, érable) Erythritol, extraits de stevia	Miel	N/A

Quelques exemples de produits alimentaires commerciaux contenant des alternatives naturelles aux additifs alimentaires :

- ✓ Le jambon blanc cuit de la compagnie duBreton, sans nitrites et sans agents de conservation. Ingrédients : Porc biologique, eau, sel de mer, sucre de canne évaporé biologique, **extraits de fruits et d'épices, épices biologiques**. Source : duBreton dubreton.com
- ✓ Les céréales Froot Loops de Kellogg's, sans colorants artificiels. Ingrédients : Sucre, farine de maïs entier, farine de blé, farine d'avoine entière, son de maïs, maltodextrine, fibres de bale d'avoine, huile de copra et végétale hydrogénées, sel, **colorant (jus de fruits et de légumes concentrés, anthocyane, rocou, curcuma)**, arôme naturel. Source : Kellogg's kelloggs.ca
- ✓ Biscuits au son d'avoine, raisins et pommes de la gamme Vital de Leclerc faits d'ingrédients simples. Ingrédients : Farine de blé enrichie, casonade, huile de canola, son d'avoine, raisins secs (raisins, huile de tournesol), pommes déshydratées, flocons d'avoine entière, fibres de balle d'avoine, sucre, poudre de pommes, **œufs entiers liquides**, bicarbonate de soude, cannelle, sel, **lécithine de soya**, lait en poudre, arôme naturel. Source : Leclerc : leclerc.ca

PRATIQUES

**de conditionnement et
modes de commercialisation**



Mise en contexte

La tendance de naturalité des produits alimentaires, ou *clean label*, entraîne des défis technologiques non seulement pour la formulation et le procédé de fabrication des aliments, mais également au niveau des étapes suivant la fabrication, soit le conditionnement, l'emballage, la distribution et la commercialisation. En effet, ces étapes sont cruciales pour assurer la qualité et l'innocuité du produit *clean label* sur toute sa durée de vie. Cette fiche n'est pas une revue exhaustive de toutes les solutions en termes de conditionnement, d'emballages et de commercialisation, mais bien une présentation de quelques pratiques repérées dans l'industrie alimentaire et des stratégies en développement.

Conditionnement et emballages alimentaires

Les emballages alimentaires présentent plusieurs fonctions, les principales étant de contenir le produit et de préserver son intégrité lors du transport, de la distribution et du stockage. Ils ont également un rôle majeur dans la conservation de la fraîcheur de l'aliment et le maintien de sa qualité nutritionnelle, sensorielle et microbiologique, notamment en empêchant ou limitant la croissance microbienne et les réactions de dégradation physiologiques et physico-chimiques. Le choix du matériau d'emballage et ses caractéristiques technologiques intrinsèques (barrière à la vapeur d'eau, à l'oxygène, à la lumière, etc.) sont importants et doivent être parfaitement adaptés au produit ciblé. Les emballages sous atmosphères modifiées sont largement utilisés alors que plusieurs initiatives d'emballages intelligents et actifs voient le jour à l'échelle commerciale.

L'emballage sous atmosphères modifiées

Il s'agit d'un mode de conditionnement bien maîtrisé dans l'industrie alimentaire. Un mélange d'oxygène, d'azote et/ou de dioxyde de carbone, à différentes proportions selon le type d'aliment emballé, est injecté dans l'emballage qui est ensuite scellé hermétiquement. La substitution d'une partie de l'oxygène par ces gaz permet de ralentir la respiration et de réduire la sensibilité à l'éthylène des produits végétaux. L'emballage sous vide est aussi une forme d'atmosphère modifiée visant à retirer l'oxygène. Les produits alimentaires sensibles à l'oxydation, surtout ceux riches en acides gras insaturés (par exemple les graines et les céréales), sont aussi conservés dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, ce qui limite le recours à des antioxydants. La durée de vie des produits comme la viande hachée et les produits prêts-à-manger est augmentée par l'ajout dans l'emballage de gaz carbonique qui a un effet inhibiteur sur la croissance microbologique. Dans le cas des croustilles, l'oxygène est remplacé par de l'azote, un gaz inerte, ce qui permet d'éviter l'oxydation. L'injection de ce gaz dans l'emballage a aussi pour fonction de limiter le bris des croustilles.

Les emballages intelligents

Les emballages intelligents sont en émergence et en processus de maturation technologique, ils sont donc peu retrouvés actuellement dans l'industrie alimentaire. Ils permettent de fournir des informations au consommateur quant à la qualité du produit emballé. Les emballages intelligents contiennent des matériaux ou des composés qui détectent, enregistrent et communiquent des informations sur les conditions de l'aliment et de son environnement, comme la température, le pH et la composition gazeuse, pendant les étapes de transport et de stockage précédant sa consommation. Ils ont pour fonction de faciliter la prise de décision des transformateurs alimentaires, des commerçants et des consommateurs sur l'innocuité du produit emballé. Voici quelques exemples d'emballages intelligents en développement :

✓ Détecteurs actifs :

- Un emballage transparent s'obscurcit si l'excès de lumière peut nuire à la qualité du produit.
- Un détecteur de bactéries pathogènes peut modifier le code barre sur l'emballage du produit de manière à le rendre illisible et empêcher l'achat du produit par le consommateur.

✓ Indicateurs chromatiques :

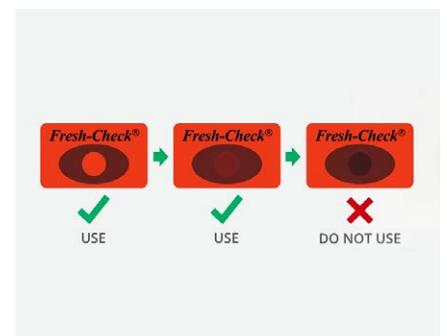
- Un indicateur de fuite change de couleur pour indiquer la présence d'oxygène dans les produits emballés sous vide ou lorsque les niveaux de dioxyde de carbone diminuent dans les produits emballés en atmosphère modifiée.
- Un indicateur détecte la production d'arômes spécifiques à un fruit ou la production d'éthylène et transmet l'information par un indicateur de couleur qui indique le stade de maturité de l'aliment.
- Un indicateur temps-température change irréversiblement de couleur lorsque la température d'un produit devient trop élevée et informe ainsi le consommateur d'un bris de la chaîne de froid.



L'indicateur de dioxyde de carbone « After Opening freshness Timer » de l'entreprise Insignia Technologies.
Source : Insignia Technologies
insigniatechnologies.com



L'indicateur de mûrissement de l'entreprise RipeSense.
Source : RipeSense ripesense.co.nz



L'indicateur temps-température « Fresh-Check® » de l'entreprise Temptime.
Source : Temptime Corporation
fresh-check.com

Les emballages actifs

Les emballages actifs permettent au produit alimentaire, à l'emballage et à l'environnement d'interagir ensemble de manière à maintenir la qualité du produit et à augmenter sa durée de vie. Ces emballages absorbent ou émettent activement des substances dans l'emballage ou dans l'aliment. Ils permettent notamment de retarder l'oxydation des produits carnés, de contrôler la respiration des produits végétaux, de ralentir la croissance microbienne ou encore de contrôler la migration de l'humidité dans les produits secs.

- ✓ **Les absorbeurs** contiennent des composés qui absorbent l'oxygène, l'humidité ou l'éthylène, des éléments qui nuisent à la conservation du produit. Des absorbeurs d'oxygène ajoutés dans les emballages permettent une réduction de l'oxydation des minéraux, éliminant ainsi le besoin d'ajouter des agents chélatants comme l'EDTA aux aliments.
- ✓ **Les émetteurs** introduisent des composés qui permettent une meilleure conservation du produit, comme des composés antimicrobiens ou antioxydants, de l'éthanol, du gaz carbonique, des arômes, etc. Ces composés intentionnellement libérés sur l'aliment et qui en deviennent partie intégrante doivent être inscrits sur la liste d'ingrédients.

Type d'emballage actif, substances actives, applications alimentaires et impacts sur le produit alimentaire

Type d'emballage actif	Exemples de substances actives	Exemples d'applications alimentaires	Impacts sur le produit
Absorbeurs			
Absorbeur d'oxygène	Fer, palladium, acide ascorbique	Viandes et charcuteries, fromages râpés, jus de fruits et légumes	Limite le brunissement, la croissance des moisissures, la rancidité, l'oxydation et retient la vitamine C
Absorbeur d'humidité	Bentonite, chlorure de sodium, sorbitol	Champignons, tomates, fraises, produits céréaliers, poissons frais, viandes, poudres	Maintient le niveau d'humidité, empêche la condensation, conserve l'apparence et la coloration
Absorbeur d'éthylène	Minéraux à base de zéolite, nanoparticules d'oxyde de zinc, d'oxyde d'argent ou de dioxyde de titane	Fruits climactériques et légumes	Retarde le mûrissement et la sénescence, prolonge la durée de vie
Émetteurs			
Émetteur d'antioxydant	Tocophérols, acide citrique, resvératrol, extrait d'origan	Poissons gras et viandes, huiles, graines et noix, produits frits	Réduit les réactions d'oxydation
Émetteur de dioxyde de carbone	Combinaison de bicarbonate de sodium et d'acide citrique	Poissons et viandes	Réduit l'activité microbienne
Émetteur d'agent antimicrobien	Huiles essentielles, enzymes et bactériocines, acides organiques, allyl isothiocyanate	Poissons, viandes, fruits de mer, produits laitiers, végétaux et céréaliers	Limite la croissance microbienne, augmente la durée de vie

Modes de commercialisation

Plusieurs stratégies, au cours de la distribution, de la commercialisation et de l'entreposage chez le consommateur peuvent être utilisées pour atteindre la durée de vie souhaitée des produits alimentaires :

- ✓ Congeler le produit pendant la distribution, puis réaliser la vente à température ambiante. La congélation permet de ralentir les réactions de dégradation dans les aliments. Il est toutefois important de s'assurer que les emballages utilisés sont adaptés à la congélation. Par exemple, le polypropylène devient friable aux températures de congélation. Les coûts énergétiques de cette méthode peuvent cependant être élevés.
- ✓ Modifier le positionnement du produit à l'épicerie :
 - Vente à température réfrigérée plutôt qu'à température ambiante.
 - Vente dans la section des produits naturels.

Par exemple, un pain sans agent de conservation peut être entreposé deux semaines au réfrigérateur ou neuf mois au congélateur, plutôt qu'à température ambiante afin d'améliorer sa conservation. L'entreprise *Base Culture* fabrique un pain sans agent de conservation, ni ingrédient artificiel et recommande le choix de l'une de ces deux méthodes plutôt que la conservation à température ambiante.

Le retrait des additifs peut permettre à un aliment de se distinguer en devenant un produit aux caractéristiques distinctes du produit équivalent contenant des additifs. Certains transformateurs en ont fait une stratégie de vente et de communication avec le consommateur :

- Un **jambon sans nitrite**, caractérisé par sa couleur grise plutôt que rose comme habituellement retrouvée dans les jambons contenant des nitrites. Sur l'emballage du jambon Zéro nitrite de Fleury Michon, la mention « *Sans conservateur : une couleur naturelle de viande de porc cuite* » informe le consommateur que la couleur du produit est signe de sa naturalité. Le produit se conserve 8 jours comparativement à 21 jours pour le jambon avec nitrites.
- Le **beurre d'arachide naturel** ne contient pas d'agent stabilisant comme l'huile hydrogénée, ni d'agent de conservation. Les huiles naturelles des arachides se séparent donc de la partie solide et remontent à la surface. Les fabricants de beurre d'arachide naturel peuvent expliquer au consommateur sur l'emballage que la séparation observée résulte d'un phénomène naturel, justement provoqué par l'absence d'additif. Il est donc nécessaire de bien le mélanger avant de servir et de le conserver au réfrigérateur. Cette séparation devient un symbole de la naturalité du produit.



Jambon « Zéro nitrite » de l'entreprise Fleury Michon.
Source : Fleury Michon fleurymichon.fr



Beurre d'arachide naturel de l'entreprise Mille et une noix.
Source : Mille et une noix milleetunenoix.ca

Synthèse

Comparaison synthétique des procédés

Microfiltration Ultrafiltration Nanofiltration Osmose inverse		Hautes pressions Hydrostatiques (HPP)		Homogénéisation Conventionnelle et haute pression (HPH, UHPH)		Champs électriques pulsés		Ultrasons		Micro-ondes		Lumière pulsée		Torche à plasma		Détente instantanée contrôlée	
Nature du procédé		Procédés membranaires		Procédés pressurisés		Procédés électriques		Procédés ondulatoires		Procédés ondulatoires		Procédés émergents		Procédés émergents		Procédés émergents	
Principe de fonctionnement	Séparation par membrane	Pression extrême et uniforme	Fractionnement des particules	Électroporation des membranes cellulaires	Cavitation	Excitation des molécules d'eau	Impulsions lumineuses, intenses et très rapides	Ionisation de gaz en espèces actives	Chute instantanée et contrôlée de la pression								
Maturité techno-commerciale	Mature	Mature	Homogénéisation conventionnelle : mature. HPH ₀ et UHPH : émergent	Croissante et mature dans le secteur de la pomme de terre	Mature	Mature	Croissant	Émergent	Émergent, mais disponible commercialement								
Type d'aliments	Liquides non-visqueux	Liquides et solides	Liquides et semi-liquides (émulsions et suspensions)	Liquides, semi-liquides et certains solides	Liquides et aliments pâteux	Liquides et solides Aliments emballés	Solides et semi-liquides à surface lisse principalement	Liquides et solides	Solides, en morceaux et peu sucrés								
Principales applications	Produits laitiers, acéricoles et alcoolisés, jus de fruits et légumes, eau	Produits carnés, marins, végétaux, laitiers et ovoproduits	Produits laitiers, jus, boissons végétales, boissons alcoolisées, vinaigrettes, mayonnaises	Pomme de terre (chips et frites), fruits et légumes (jus, soupes, purées, chips)	Produits végétaux Jus et purées, sauces et vinaigrettes Œufs Crème glacée, chocolat, miel	Bacon Viandes, poissons, fruits et légumes Pâtes et épices Chips de pomme de terre et craquelins	Fruits et légumes, produits laitiers, confiture, emballages alimentaires	Produits laitiers, jus, fruits et légumes, épices, noix, aliments prêts à manger	Fruits et légumes, épices, grains, légumineuses, algues, café, cacao								
Principales fonctions	Retrait des micro-organismes Concentration Clarification des jus Désalcoolisation	Inactivation des micro-organismes végétatifs et des enzymes	Inactivation de micro-organismes végétatifs et d'enzymes Stabilisation d'émulsion et de suspension	Destruction de certains micro-organismes Extraction de composés Pré-traitement des aliments à découper, à déshydrater ou à sécher, à frire	Extraction de composés Homogénéisation et émulsification Pasteurisation Réduction de viscosité Cristallisation	Cuisson Réchauffage et tempéragé Pasteurisation Séchage	Décontamination de surface Stérilisation	Destruction de micro-organismes Décontamination d'emballage alimentaire Dégradation des résidus de pesticides	Destruction de micro-organismes et des enzymes Texturisation Séchage Extraction de composés								
Fonctionnement	Continu	Lot	Continu	Continu Lot	Continu Lot	Continu Lot	Continu	Continu Lot	Continu	Lot	Lot	Lot					
Procédé thermique ou non	Non thermique	Non thermique	Non thermique, mais augmentation indirecte de la température	Non thermique	Non thermique	Thermique	Non thermique	Non thermique	Non thermique, mais augmentation indirecte de la température								

Comparaison synthétique des procédés, suite

	Microfiltration Ultrafiltration Nanofiltration Osmose inverse	Hautes pressions Hydrostatiques (HPP)	Homogénéisation Conventionnelle et haute pression (HPH _o , UJPH)	Champs électriques pulsés	Ultrasons	Micro-ondes	Lumière pulsée	Torche à plasma	Détection instantanée contrôlée
Investissement industriel	++ 100000 \$ à 2 M\$	+++ 800000 \$ à 5 M\$	++ 150000 \$ à 3,5 M\$	++ 125000 \$ à 2,5 M\$	+ 23000 \$ à 250000 \$	+ à +++ 5000 \$ à 2 M\$	+	Non disponible commerciallement	+ 150000 \$ à 375000 \$
Impact sur la réduction des agents anti-microbiens	→ micro-organismes végétatifs et spores ↓ agents anti- microbiens	→ micro-organismes végétatifs mais pas les spores ↓ agents anti-microbiens	→ micro-organismes végétatifs mais pas les spores ↓ agents anti-microbiens	Destruction et inactivation de micro-organismes ↓ agents anti-microbiens	→ micro-organismes ↓ agents anti-microbiens	→ micro-organismes ↓ agents anti-microbiens	→ micro-organismes ↓ agents anti-microbiens	→ bactéries végétatives et spores ↓ agents anti-microbiens	→ bactéries végétatives et spores ↓ agents anti-microbiens
Impact sur la réduction d'autres additifs alimentaires	→ agents stabilisants ↓ enzymes et agents de collage dans les jus	→ sel et phosphate dans la viande ↓ agents anti-oxydants	↓ agents émulsifiants et stabilisants	Substitution du dioxyde de soufre dans le vin	Préservation de conservateurs anti-oxydants naturels donc ↓ agents de conservation ↓ agents émulsifiants et stabilisants ↓ certains additifs par meilleure dispersion et réduction de taille des particules qui rendent l'additif plus efficace	N/A	N/A	↓ agents anti-oxydants	↓ agents anti-oxydants
Conservation de la qualité des aliments	Propriétés organoleptiques, fonctionnelles et nutritionnelles préservées	Propriétés organoleptiques, fonctionnelles et nutritionnelles préservées	Modification des structures protéiques par HPH _o et UJPH : impact fonctionnel et nutritionnel	Amélioration de certaines propriétés techno-fonctionnelles (protéines et polysaccharides) Propriétés nutritionnelles et organoleptiques préservées	Modification de certaines propriétés techno-fonctionnelles (protéines et polysaccharides) Certaines propriétés nutritionnelles préservées	Propriétés organoleptiques et nutritionnelles préservées	Propriétés organoleptiques et nutritionnelles préservées	Changement de coloration, destructions de vitamines et d'antioxydants	Propriétés organoleptiques et nutritionnelles préservées Modification de la texture

Un programme d'aide financière est disponible, via le Programme Alimentation santé, pour les entreprises qui souhaiteraient utiliser ces procédés dans l'optique de réduire l'utilisation des additifs alimentaires (mapaq.gouv.qc.ca/pas).



Conclusion et recommandations

Dans ce rapport, plusieurs stratégies technologiques et alternatives naturelles aux additifs alimentaires ont été décrites via une approche multicritères dont notamment la compatibilité des solutions proposées selon l'état physique de la matrice (liquide, semi-liquide, solide) et sa composition, la maturité technologique, les coûts d'investissement et les aspects réglementaires.

Globalement, les procédés alimentaires, qu'ils soient conventionnels ou émergents, ont comme point en commun de diminuer la charge microbienne des matrices alimentaires lors des étapes de transformation. Cette inhibition des micro-organismes d'altération et pathogènes permet en principe de diminuer potentiellement l'ajout d'additifs alimentaires ayant des propriétés antimicrobiennes. Cependant, prendre seulement en considération le facteur de l'efficacité d'inhibition microbienne n'est pas suffisant pour juger de l'utilisation et de l'implantation du procédé à l'échelle commerciale. L'exemple suivant, traitant spécifiquement des procédés de filtration et à hautes pressions hydrostatiques (HPP), démontre clairement les multiples critères à prendre en considération dans le choix d'une technologie. En effet, le procédé de microfiltration et la technologie à HPP sont tous deux disponibles à l'échelle commerciale, acceptés par les organismes réglementaires et actuellement utilisés pour diminuer la charge microbienne des aliments lors des étapes de transformation. D'un point de vue économique, le coût d'achat des procédés de filtration membranaires est plus faible, le retour sur investissement plus rapide et la productivité est améliorée du fait d'un fonctionnement en continu. Néanmoins, contrairement aux procédés membranaires, la technologie utilisant les HPP peut être appliquée sur une plus large gamme de produits alimentaires. De plus, les produits traités par HPP, notamment les jus, présentent un profil de composition similaire à des produits frais, ce qui peut être perçu comme un bénéfice par le consommateur. Dans ce cas, la décision finale prise par le transformateur dépendra notamment du type de produit à traiter, des volumes de transformation, de sa valeur commerciale, du prix d'achat attendu par le consommateur et de l'accessibilité à la technologie.

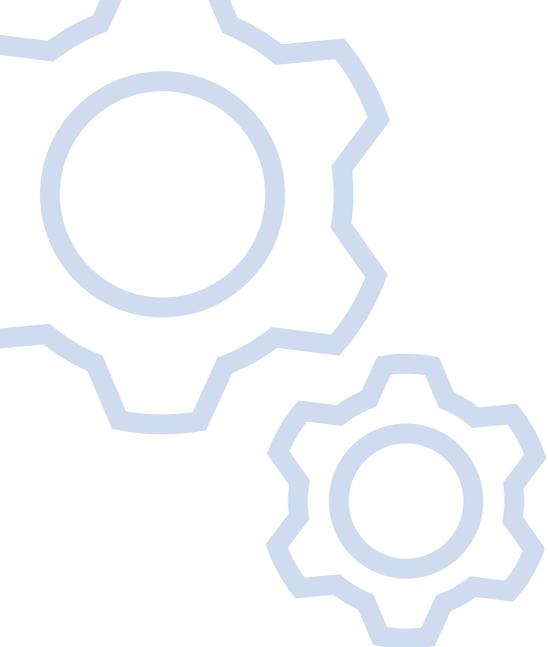
Prendre seulement en considération le facteur de l'efficacité d'inhibition microbienne n'est pas suffisant pour juger de l'utilisation et de l'implantation du procédé à l'échelle commerciale.

Plusieurs technologies plus émergentes ont également été décrites dans ce document et les critères de choix indiqués dans le paragraphe précédent s'appliquent également pour ces procédés. Cependant, des critères additionnels d'importance, tels que le niveau de maturité technologique, leur statut réglementaire, la disponibilité des systèmes et les coûts d'investissement sont à prendre spécifiquement en considération. Malgré leurs avantages indéniables sur la matrice, les procédés de torche à plasma, de détente instantanée contrôlée et de lumière pulsée ne semblent pas avoir atteint un niveau de maturité technologique suffisant justifiant leur implantation à l'échelle industrielle à court terme. Cependant, les avancées constantes réalisées actuellement en recherche et développement en termes de conception de ces équipements et de démonstrations de leurs bénéfices sur l'aliment laissent entrevoir une évolution positive de leurs utilisations à moyen terme. Les procédés utilisant les micro-ondes, les champs électriques pulsés et à ultrasons présentent un potentiel intéressant pour le secteur alimentaire car :



De plus, ils peuvent globalement être appliqués sur une large gamme d'aliments et présentent des avantages pour l'amélioration des propriétés techno-fonctionnelles de l'aliment limitant potentiellement l'ajout d'additifs de type agents émulsifiants et stabilisants. Néanmoins, il sera très important que les statuts réglementaires évoluent favorablement afin de faciliter leur utilisation et la commercialisation des produits traités avec ces technologies.

La recherche sur les composés naturels comme alternative aux additifs alimentaires dits synthétiques ou artificiels est en constante croissance pour répondre aux attentes des consommateurs. Ce rapport en présente plusieurs exemples. Certains additifs naturels sont déjà utilisés à grande échelle dans l'industrie alimentaire (ex : épices, gommés, lécithines) alors que d'autres sont plus émergents (ex : bactériocines) voire encore au stade de développement (ex : métabolites phénoliques issus de levures). L'intégration d'alternatives naturelles à la formulation de produits alimentaires est très complexe car d'une part il est nécessaire d'étudier, de tester et de valider les impacts de l'ajout de ces additifs naturels sur la qualité microbiologique, les propriétés techno-fonctionnelles et sensorielles de l'aliment ciblé ; d'autre part, et de manière similaire à ce qui a été indiqué lors du choix d'un procédé alimentaire, les notions de disponibilité à large échelle, d'enjeux réglementaires, de coût d'achat de ces additifs naturels et donc de la répercussion sur le prix de vente du produit sont à intégrer dans la matrice décisionnelle du transformateur alimentaire. Cependant, il est intéressant de constater qu'il existe un nombre de plus en plus important d'ingrédients naturels et qui ne cesse d'augmenter avec l'avancée des recherches dans cette thématique. Il faut souligner les efforts importants de recherche et développement des dernières années, par le milieu institutionnel comme par les fournisseurs d'ingrédients, qui offrent souvent un support technologique adapté aux contraintes et attentes du transformateur alimentaire.



Hormis les procédés alimentaires et les alternatives naturelles, une optimisation des emballages alimentaires et des étapes de conditionnement permet de limiter l'ajout d'additifs. L'utilisation d'atmosphère contrôlée étant l'exemple par excellence, cette stratégie étant largement utilisée dans le secteur alimentaire depuis plusieurs décennies pour améliorer la durée de vie des matrices alimentaires. Les emballages actifs utilisés pour maximiser la conservation des denrées alimentaires représentent une solution d'intérêt dans une optique de réduction d'ajouts d'additifs alimentaires. Cependant, à court terme, il n'est pas justifiable de miser sur une telle approche, le développement de tels emballages étant encore davantage au stade de recherche et développement. De plus, le coût potentiel de ces emballages représenterait un frein potentiel à leur achat. Néanmoins, dans une approche environnementale clairement tournée vers la diminution des emballages plastiques conventionnels, le développement d'emballages actifs de nouveaux polymères alimentaires naturels, bio-sourcés et plus facilement réutilisables serait à prioriser. La commercialisation de tels emballages n'est actuellement peu, voire pas répandue, leur développement étant majoritairement à l'étape de recherche en laboratoire. Dans le contexte actuel, l'utilisation des emballages pour informer le consommateur sur les aspects de naturalité de l'aliment représente l'option la moins complexe à mettre en œuvre tel qu'indiqués dans les exemples listés dans la section 3 *Pratiques de conditionnement et modes de commercialisation* de ce rapport.

En guise de conclusion, il est certain que les produits alimentaires transformés ne peuvent pas tous se passer d'additifs alimentaires afin de respecter les attentes d'innocuité, de qualité sensorielle, de durée de vie et de prix exigées par les consommateurs. Il ne s'agit donc pas d'éliminer à tout prix tous les additifs alimentaires, mais de se concentrer stratégiquement sur ceux qui sont les moins bien perçus par le consommateur ou les scientifiques, et pour lesquels des solutions accessibles existent. Il est nécessaire de rappeler que plusieurs facteurs doivent alors

Il ne s'agit pas d'éliminer à tout prix tous les additifs alimentaires, mais de se concentrer stratégiquement sur ceux qui sont les moins bien perçus par le consommateur ou les scientifiques, et pour lesquels des solutions accessibles existent.

être pris en considération de la part des acteurs de la transformation des aliments pour réaliser les choix les plus adaptés à leurs réalités industrielle et commerciale. Il est néanmoins rassurant de constater que de multiples options existent et sont disponibles, tant au niveau des technologies alimentaires que des ingrédients naturels, pour progresser dans la réduction de l'utilisation de ces additifs. De plus, plusieurs structures de recherche regroupant des experts dans ces thématiques sont disponibles au Québec afin de guider le transformateur industriel dans sa démarche de limiter l'utilisation d'additifs et d'offrir des aliments rejoignant les demandes du marché de naturalité des aliments transformés.

