

# Séminaire 1: Innovation dans le secteur alimentaire – Partie 1

16 février 2022 (Mise à jour: août 2023)

Monique Lacroix

Professeur titulaire

INRS Armand-Frappier Santé  
Biotechnologie

Directrice

Laboratoires de Recherche en  
Sciences, Appliquées à l'Alimentation

Centre d'Irradiation du Canada



**Déchets alimentaire**

**Niveau de déchet**

**Exemple de transformation**

**Qu'est-ce qu'un déchet industriel**

**Un bon produit au mauvais endroit**

**et au mauvais moment**



# Déchets alimentaire

Déchets alimentaire: 1.3 million tonnes/an en 2018

**Chaque année 50% de la production alimentaire est perdue au Canada  
\$50 Milliards**



**8% vente au détail  
15% durant la transformation  
22% résidence**



**Que deviennent les déchets alimentaires ?**

**Une fois collectés, les déchets alimentaires sont amenés vers une usine de méthanisation ou un centre de compostage. Ils sont alors transformés pour produire du biogaz, de l'électricité, de la chaleur, de l'engrais naturel ou encore du compost. D'autres applications comme nutraceutiques, pharmaceutiques ou en médecine sont connues.**

## Exemple de déchets provenant de sous-produits alimentaire

**Chitine: transformé en chitosane et ses produits de dégradation:** absorption du cholestérol, antimicrobiens naturels ; film bioactif; absorption des métaux lourds; protection de l'émail des dents; encapsulation de médicaments; stimulateur pour la croissance des plantes; Colorant par sa composition en asthaxantine.



**Lactosérum:** renforcement du système immunitaire; augmenter les performances musculaire; baisse de la pression artérielle; régulation de l'insuline; antioxydant; baisse du taux de cholestérol; film d'enrobage et d'emballage



# Transformation du gras animal en olefine Carbure éthylénique

## Autres exemples

UV-C transforme le gras en hydrocarbures insaturés

1-tetradecene,  
1-hexadecene,  
1,7-hexadecadiene,  
1,7,10-hexadecatriene

Appelés OLEFINES

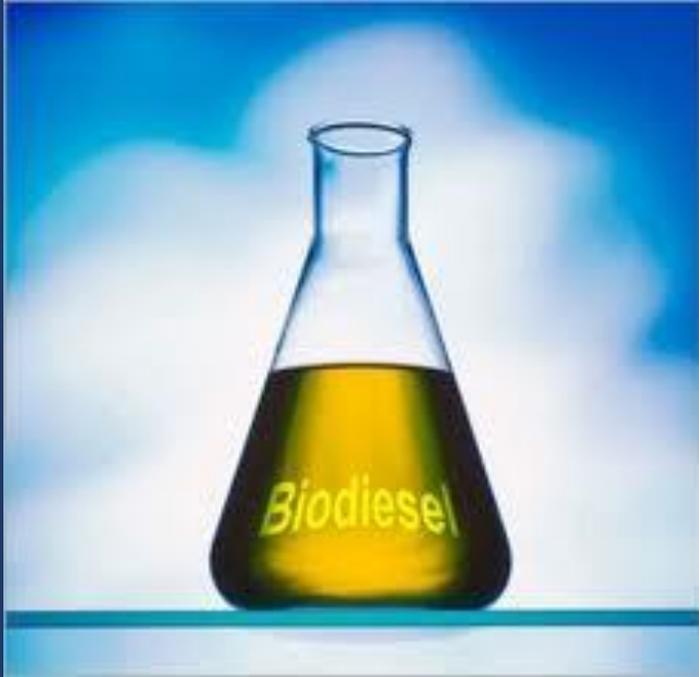
Matière premières pétro-chimiques

Ces huiles peuvent être esterifiées pour produire du biodiesel



Muro-Small et Neckers, 2013 ACS 1214-1217

# Transformation du gras animal en biodiesel



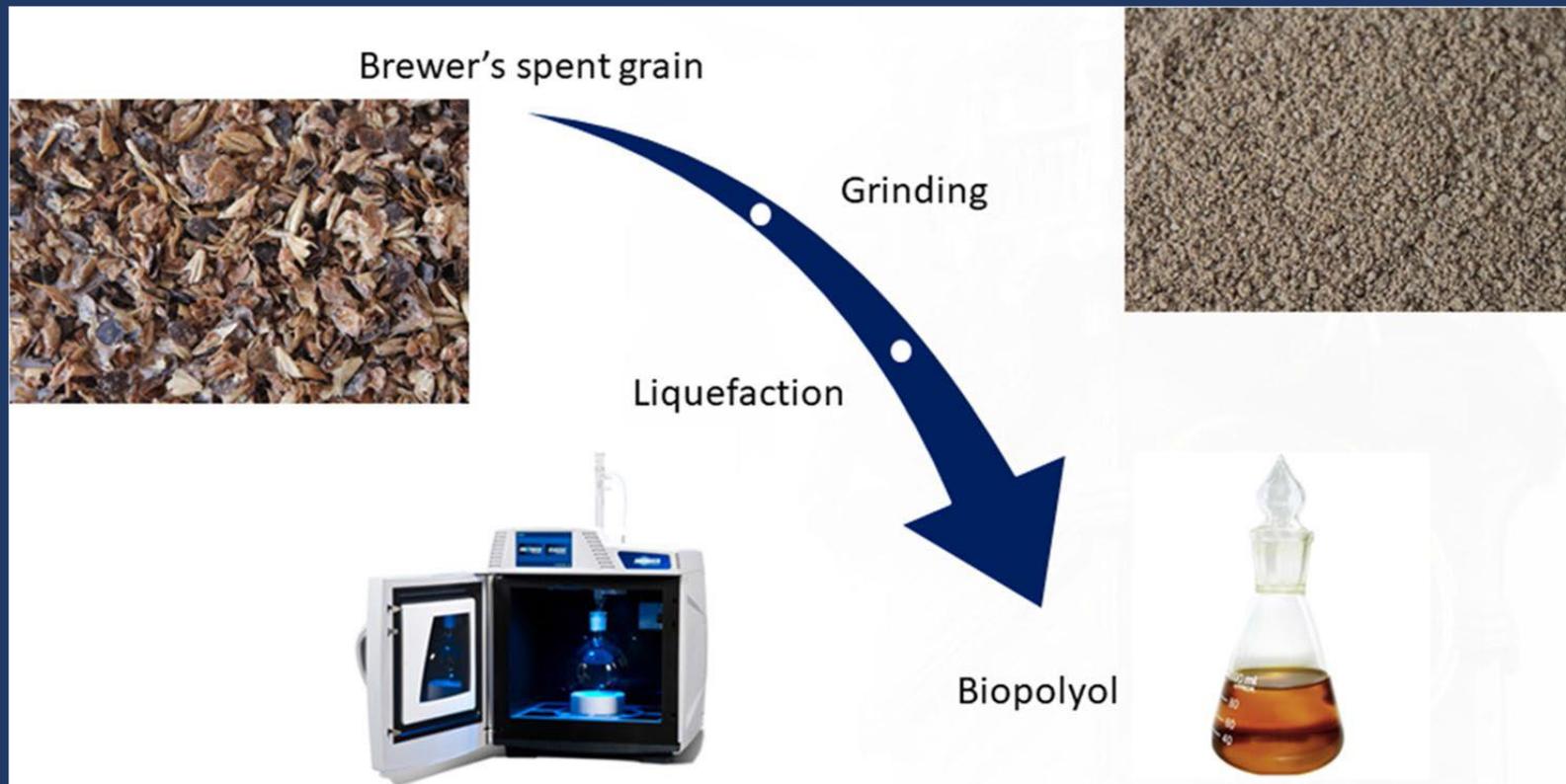
Les déchets de poulet, poisson, boeuf, porc, agneau, canard

Peuvent - être transformés en ethyl ou methyl ester par esterification ou trans esterification via l'usage de biocatalyste (reaction entre une huile avec un alcool).

Pour produire de l'ester méthilique ou éthylique entrant dans la production de biodiesel comme alternative au carburant pour moteur diesel.

**Sous-Produits de brasserie riche en cellulose** utilisés pour fabriquer des emballages ou des enrobages pour protéger les aliments.

- **La liquéfaction des sous-produits de brasserie est aussi une matière première pour produire des polyurethanes ou des polyester, matières premières (résines) dans la fabrication des emballages**



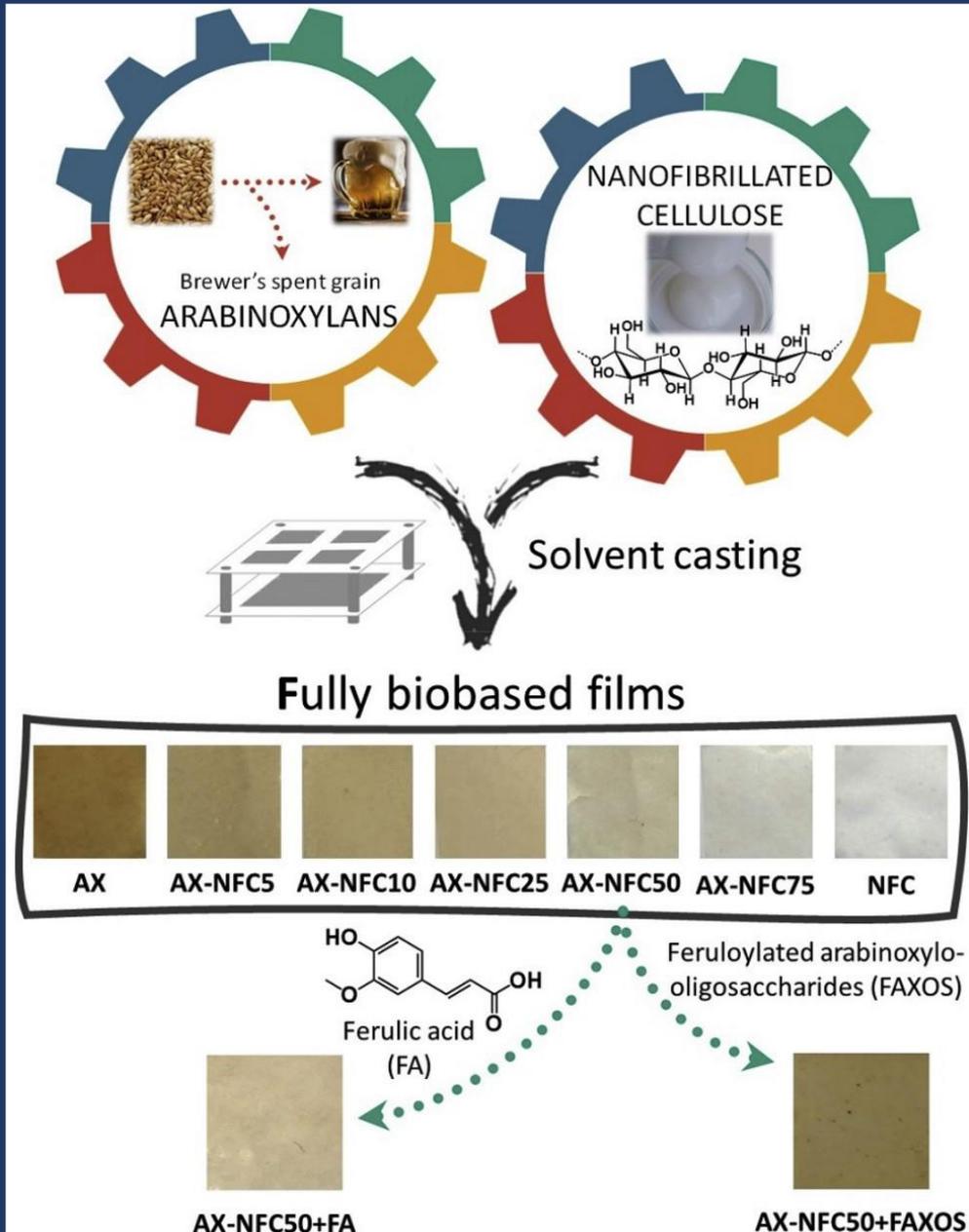
**Polyols**

**Scellant**

**Adhesif**

**Enrobage à base d'huile**

**Agents réticulant de polymères**



``Nanofibrillated cellulose`` en mélange avec des sous – produits de brasserie pour fabriquer des films

et

addition de l'acide férulique comme antioxydant

Food Hydrocolloids 108 (2020) 105836

## Lignocellulose provenant de sous-produits de brasserie

Ces résidus peuvent être une matière première en fermentation pour produire du 2,3-butanediol et bio-butanol, **solvent utilisé en construction.**

**Le gâteau obtenu après fermentation** peut-être utilisé pour l'alimentation animale ou des plastiques comme le Bio polyethylene (bio-PE), bio-based polyethylene terephthalate (bio-PET), bio-based polyurethane (bio-PUR), polylactic acid (PLA), amidon modifié, dérivés de cellulose et polyhydroxyalkanoates (PHA).

**Ces composés sont considérés comme ayant une plus value dans l'approche d'une économie circulaire avec un zero résidu.**

**Ils peuvent aussi être utilisés** pour l'alimentation humaine et animale, produits pharmaceutiques, en médecine, composés nutraceutiques.

**On note la présence de composés phénoliques** (acide hydroxycinnamique (férulique, *p*-coumarique, cafféique), antioxidant, anticancer, anti-inflammatoire. Ils peuvent être ajoutés en alimentation (``ready-to-eat snacks``, biscuits, pain, aliments riches en protéines et en fibres)

Skendi et al., 2020 Foods, <http://dx.doi.org/10.3390/foods9091243>

Journal of Food Science 2017 Vol. 82, Nr. 10, 2232-2242

## Potentiel prébiotique des résidus de bière

**Polyssacharides non digestibles (arabinoxylans et  $\beta$ -glucans) :  
alimentation animale-modulation de la flore microbienne intestinale  
(*Bifidobacterium*, *Enterococcus*, et *Lactobacillus*)**

**Les fibres vont accélérer la production d'acides gras à courtes chaînes  
comme source d'énergie pour les microorganismes anaérobiques  
contribuant à la balance du glucose, stimulation immunitaire, métabolisme  
lipidiques, suppression des bactéries pathogènes comme *Salmonella* et  
*Eschericia coli*.**

# Déchets d'emballage

**Production globale de plastique en 2015 : 381 million tonnes**

**Déchets de plastique: 275 millions tonnes en 2015**

**Le développement d'enrobage bioactif et d'emballage biodégradable peuvent contribuer à réduire les déchets d'aliments et d'emballage et peut assurer la salubrité alimentaire**

**L'Utilisation de polymères naturels représente un intérêt**



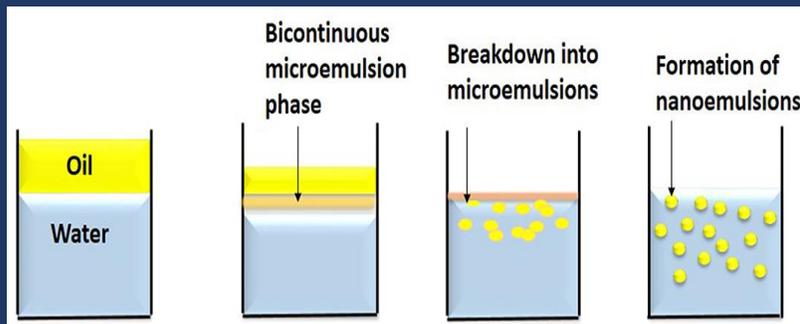
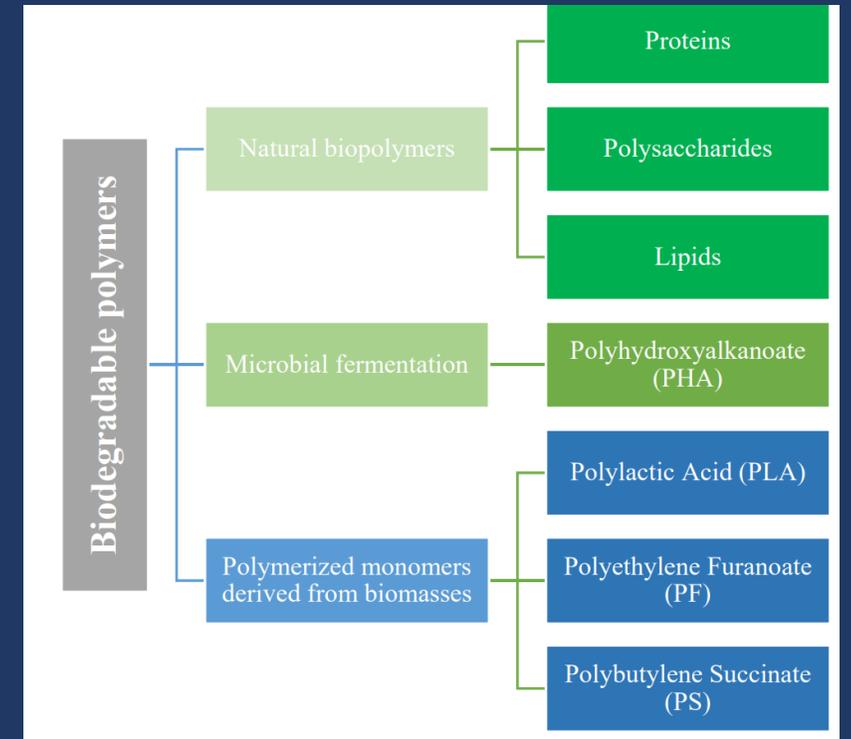
[Ourworldindata.org](http://Ourworldindata.org)





# Stratégies pour concevoir de nouveaux systèmes de diffusion présentant des avantages concurrentiels

- Seulement 3% des déchets plastiques dans le monde sont recyclés
- Le bioplastique représente environ 30% du marché mondial.
- Le bioplastique peut être fabriqué à partir d'huiles végétales et de polysaccharides comme les amidons.





# Emballage à base de produits naturels pour remplacer les emballages plastiques

- **Seulement 3% des déchets plastiques dans le monde sont recyclés**
- **Le bioplastique représente environ 30% du marché mondial.**
- **Le bioplastique peut être fabriqué par exemple à partir d'huiles végétales et de polysaccharides comme les amidons.**



# FILMS COMMERCIAUX

## FILMS LES PLUS UTILISÉS

1. LLDPE (Linear Low Density Poly Ethylene)
2. HDPE (High Density Poly Ethylene)
3. PET (Poly Ethylene Terephthalate)
4. PP (Poly Propylene)
5. EVA (Ethylene Vinyl Acetate)



**Recyclabilité/Biodégradabilité.** Un nombre croissant de marchés mondiaux et de nombreux marchés d'exportation imposent des restrictions à l'élimination des déchets pour les matériaux d'emballage. **Dans un avenir proche, presque tous les emballages de fruits et légumes seront recyclables ou biodégradables,** ou les deux. Bon nombre des plus gros acheteurs de produits frais sont aussi ceux qui sont les plus préoccupés par les questions environnementales.

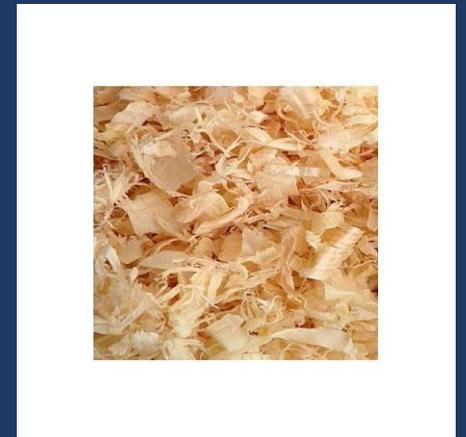


# Polymères naturels et ses défis

**Polymères extraits de la biomasse**

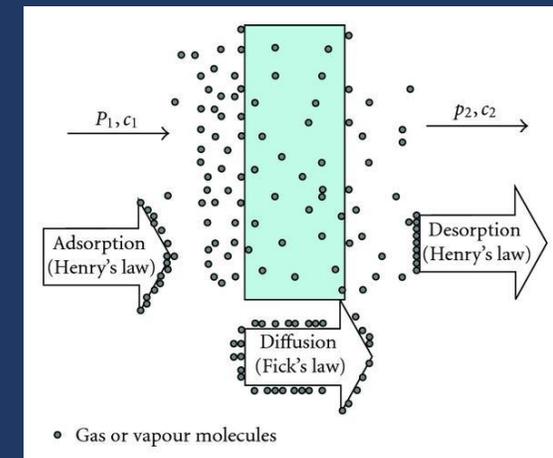
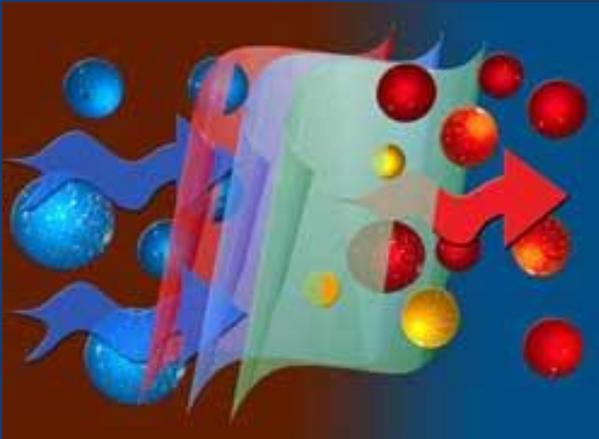
**Protéines/Polysaccharides**

**ex: amidon - Cellulose - Gommés - Chitosane-  
kératine-collagène**



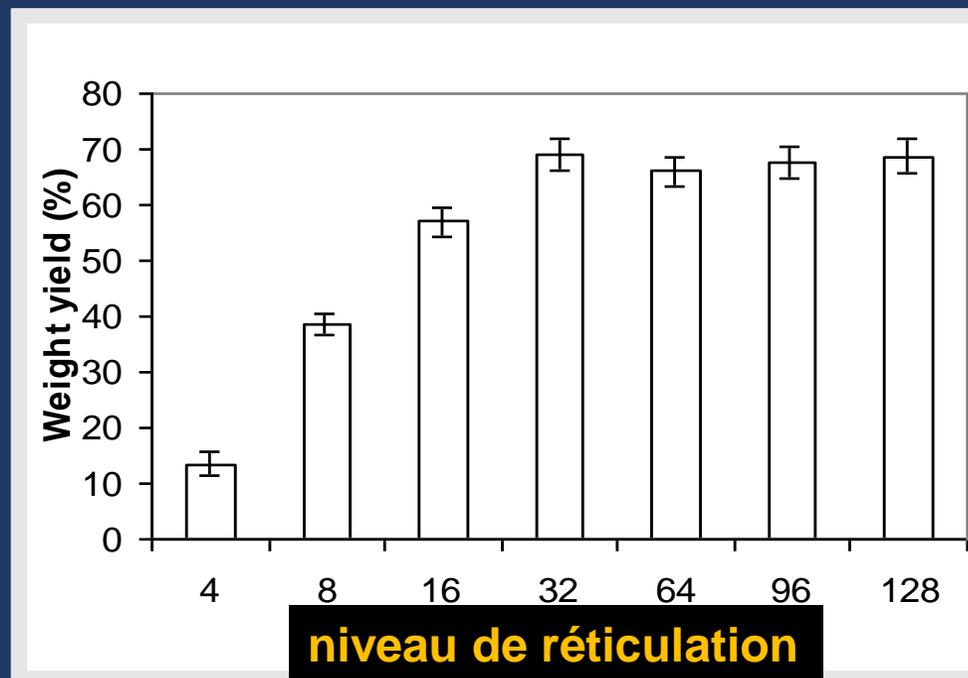
## Défis

- Films à base de protéines sont sensibles à l'humidité et possèdent une perméabilité aux gaz et à l'humidité variable
- Films à base de polysaccharides ne sont pas résistants à l'eau
- Les lipides peuvent augmenter la résistance à l'eau et l'élasticité des films

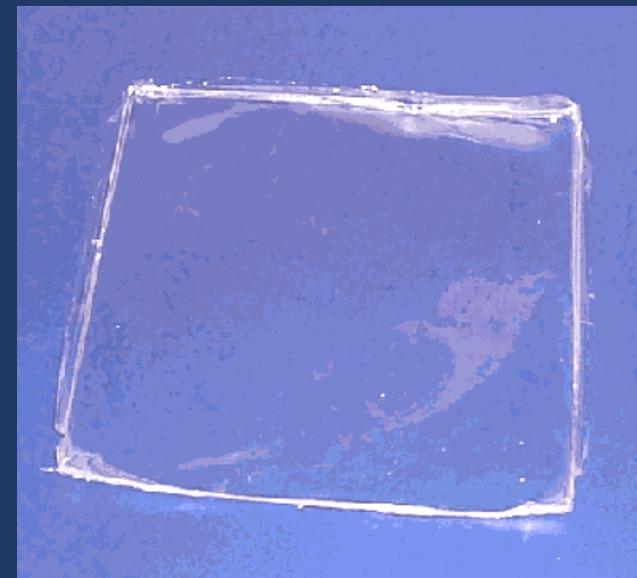




# Film à base de protéines laitières réticulées



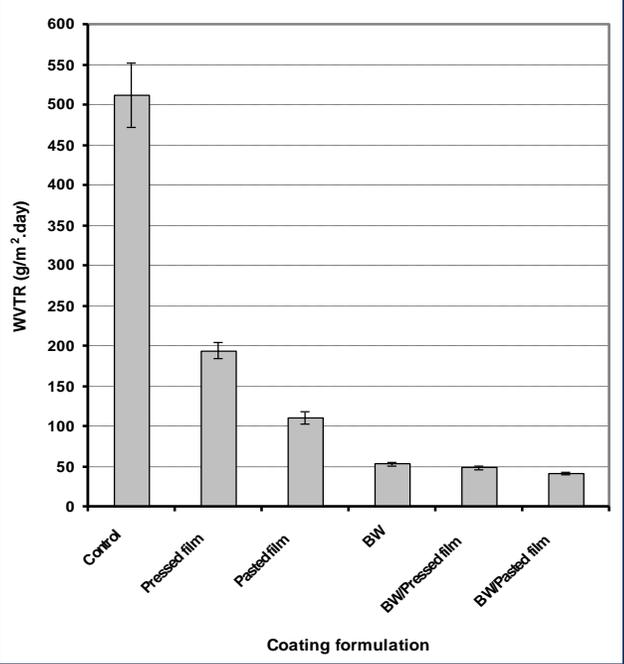
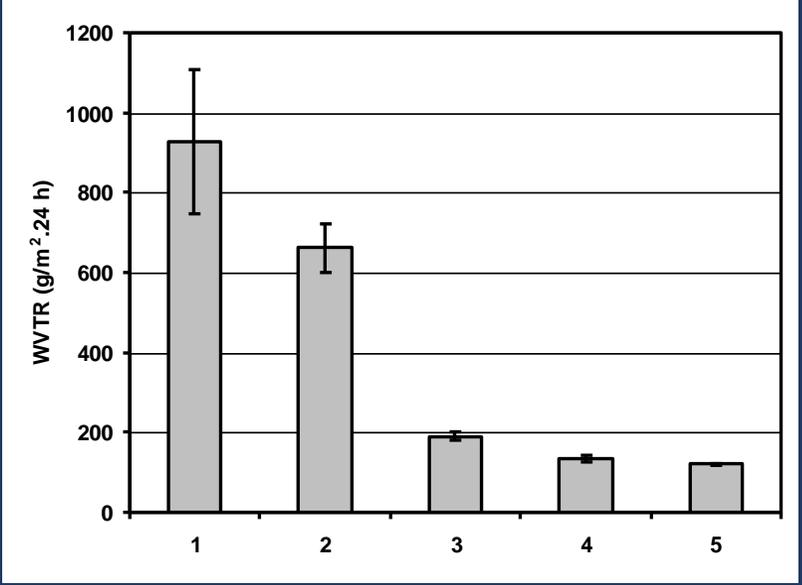
Fraction insoluble du film après 24 hr dans l'eau



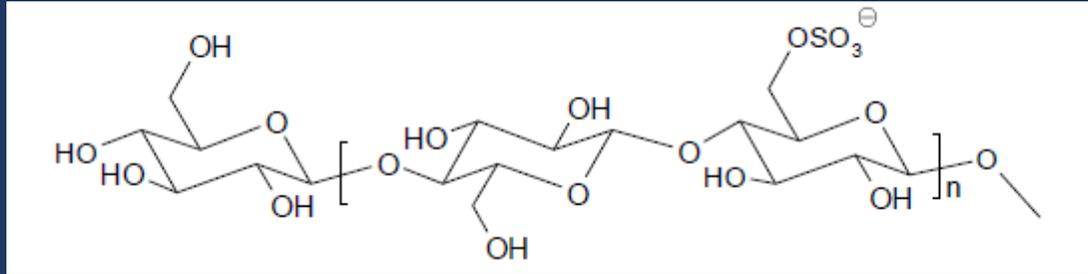
Film insoluble dans l'eau

# Enrobage et réduction de la perméabilité à l'eau

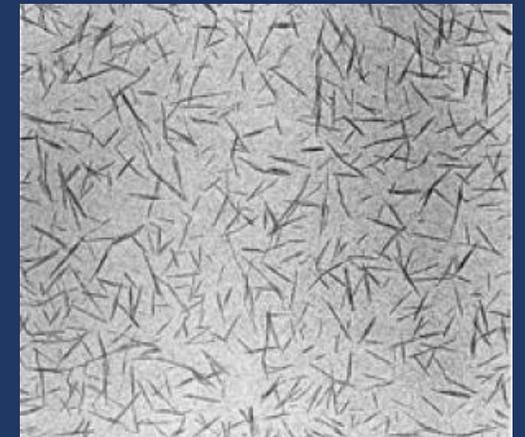
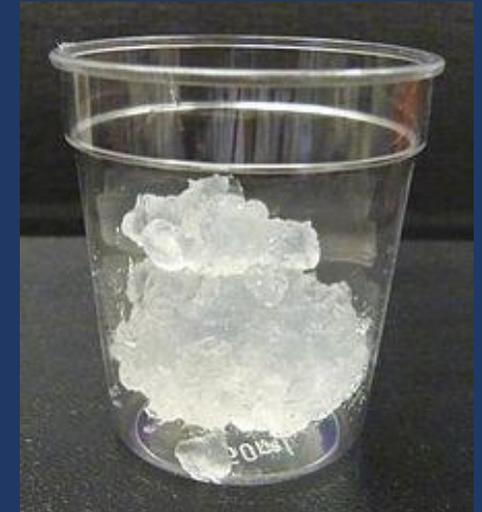
Préparation d'enrobages comestibles pour réduire le transfert d'eau dans les mets préparés et améliorer leur qualité au cours de la conservation (enrobage appliqué à l'interface pâte / garniture) ou sur la surface de carton ou barquette .



# Cellulose Nanocrystalline (CNCs) polymère naturel

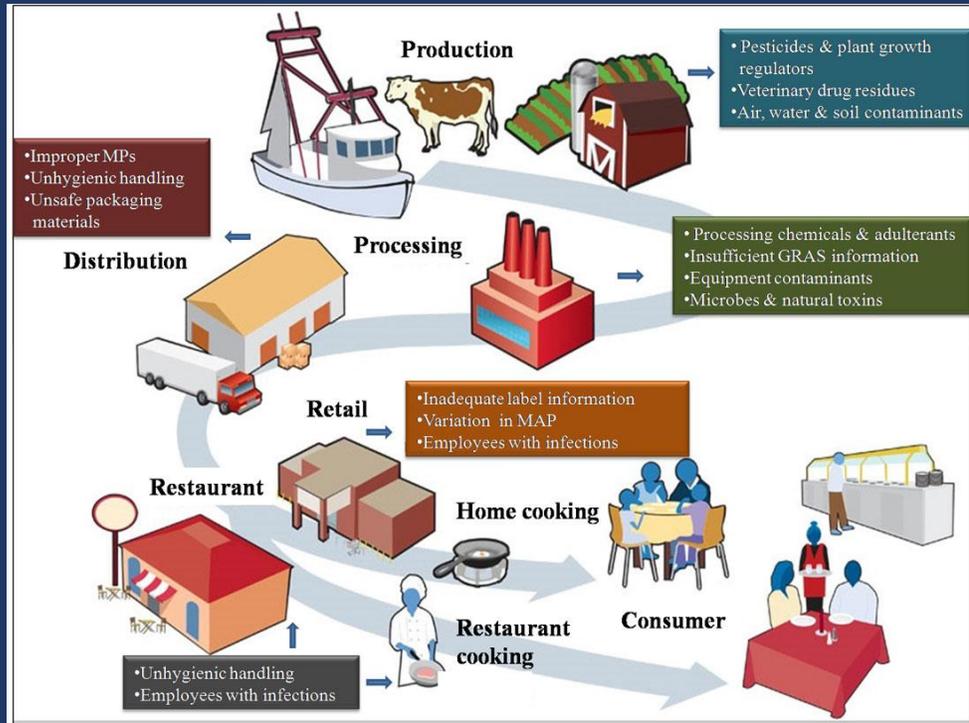


- Améliore les propriétés mécaniques et de barrières aux gaz
- peut augmenter la stabilité des composés bioactifs encapsulés dans ce polymère



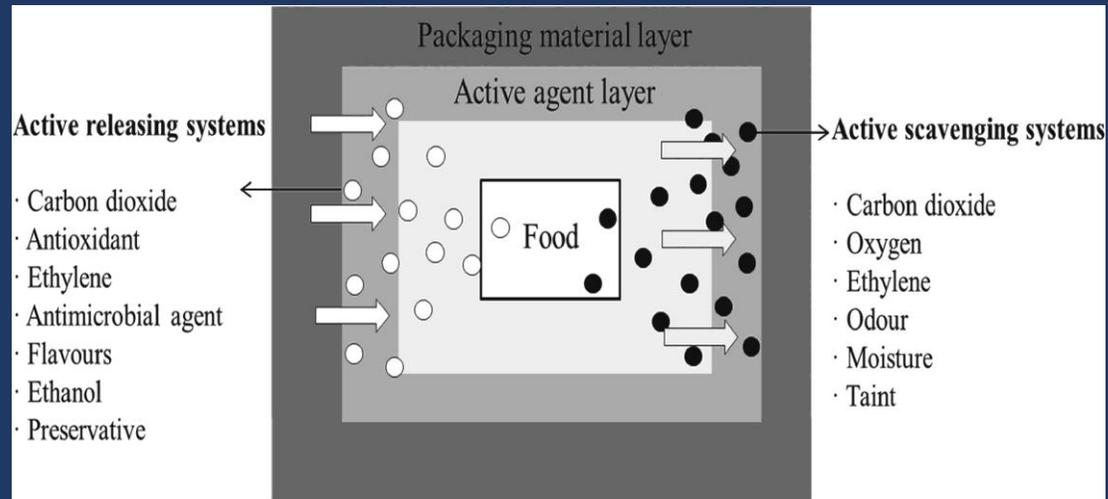
Khan *et al.*, 2010. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 7878-85; Khan *et al.*, 2014, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54:163–174; Boumail *et al.*, 2013. *J. Agric. Food Chem.*, 61, 811-21; Huq *et al.*, 2015 *Food Microbiology* 46, 507-514

# 66% des contaminations à la sortie de l'usine sont causées par une mauvaise manipulation ou par un produit mal emballé



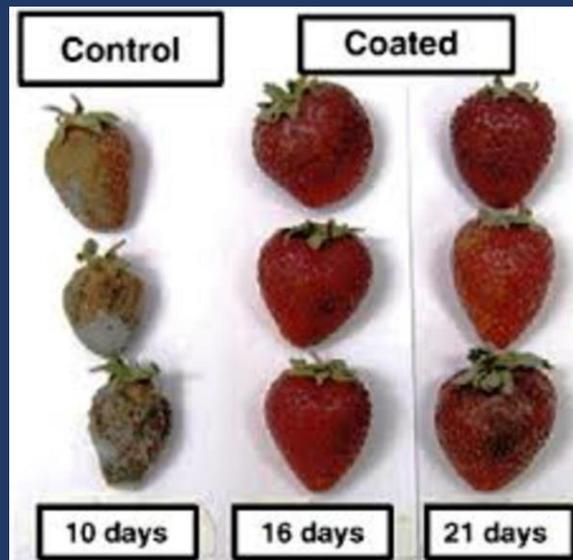
600 million: 1 personne/10 malade  
420 000 meurent chaque année (OMS)

# PROTECTION PAR FILM D'EMBALLAGE ET D'ENROBAGE BIOACTIFS



**Emballage actif**  
**Revêtement actif**  
en utilisant des polymères naturels

a été proposé en tant que  
**Approche novatrice pour**  
**Réduire les déchets alimentaires et**  
**d'emballages**



# Comparaison avec les films commerciaux

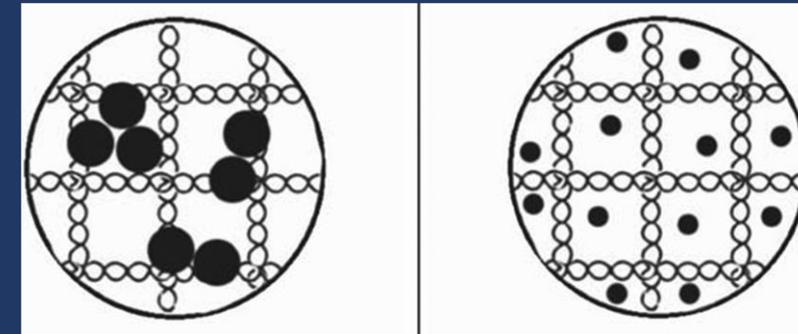
## 1. Propriétés physico-chimiques:

<u>Type de Film</u>	<u>Force de rupture (MPa)</u>	<u>Élasticité (Eb (%))</u>	<u>Solubilité</u>
<b>Polyethylene</b>	<b>12-16</b>	<b>500-600</b>	<b>Insoluble</b>
Chitosane+NCC (5%)	60-65	5-6	Insoluble
Alginate+NCC (5%)	85-90	4-6	Insoluble
PCL/MC+NCC (5%)/PCL	32-35	25-30	Insoluble
PCL+CNT (0.2%)	35-38	900-1100	Insoluble

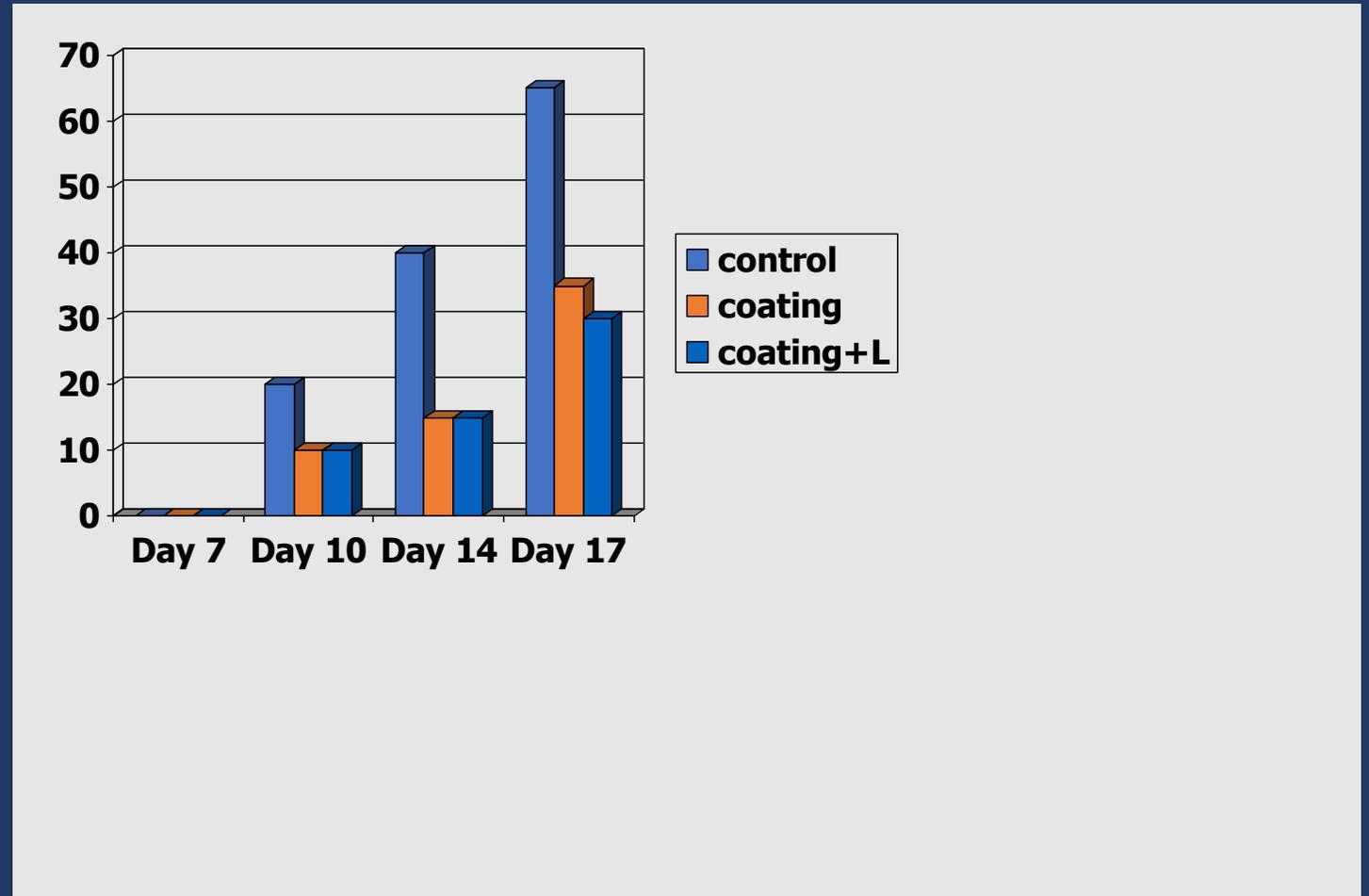
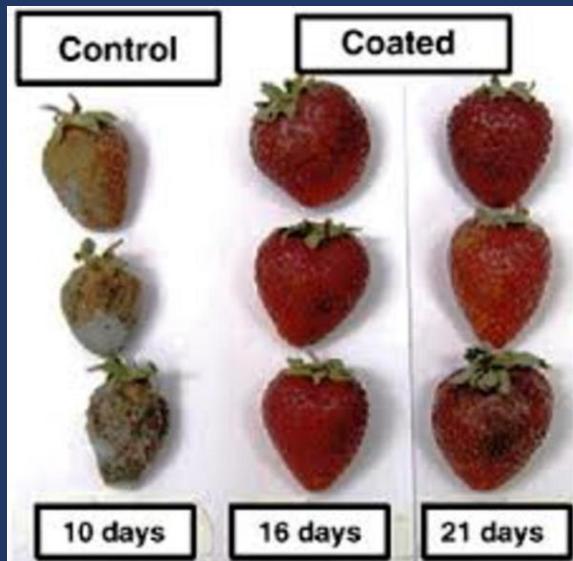
## 2. Biodegradabilité/Antibactérien/ Hydrophobicité/Autres Propriétés

<u>Film</u>	<u>Biodegradabilité</u>	<u>Antibactérien</u>	<u>Barrière</u>	<u>Transparence</u>
<b>Polyéthelene</b>	<b>non</b>	<b>non</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>
Chitosane+NCC	oui	oui	oui	oui
Alginate+NCC	oui	oui	oui	oui
PCL-MC+NCC-PCL	oui	oui	oui	oui
PCL+CNT	oui	oui	oui	oui

### NCC et renforcement



# Effet d'un film d'enrobage réticulé à base d'une solution de caséinate sur le niveau de perte des fraises (%) pendant l'entreposage à 4 °C

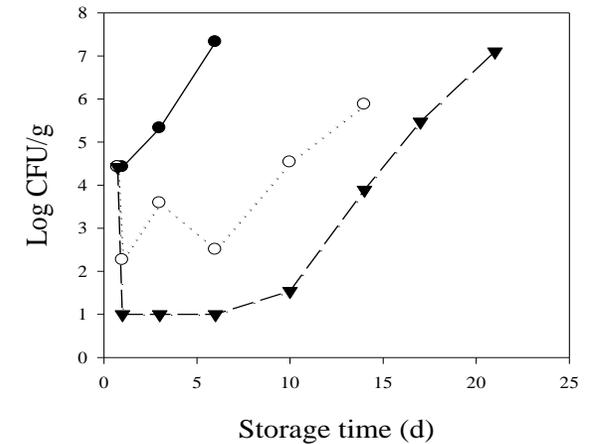


Vachon et al., 2002 . J. Food Sc. 68, 608-612

Vu et al., 2012 Rad. Phys. Chem., 81, p. 1211-14.

# Film d'enrobage antimicrobien pour mets préparés

Préparation d'un enrobage antimicrobien pour augmenter le temps de conservation des pizzas (de **3 à 20 jours** selon les formulations d'enrobages). Efficacité contre les bactéries et les moisissures.

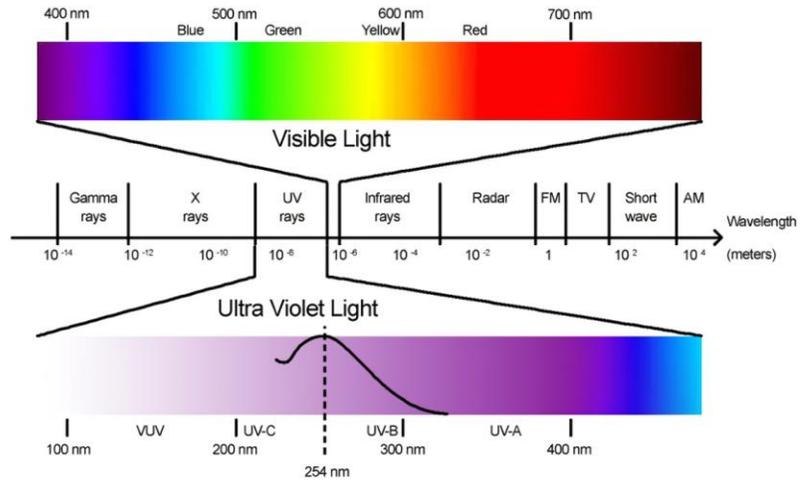


Inhibition de la croissance des moisissures en surface d'un pâté à la viande. Facilité d'application et maintien des qualités sensorielles du produit enrobé (apparence, texture, odeur, saveur).



Combinaisons de traitements : Films bioactifs et  
traitement à froid: effets synergétiques

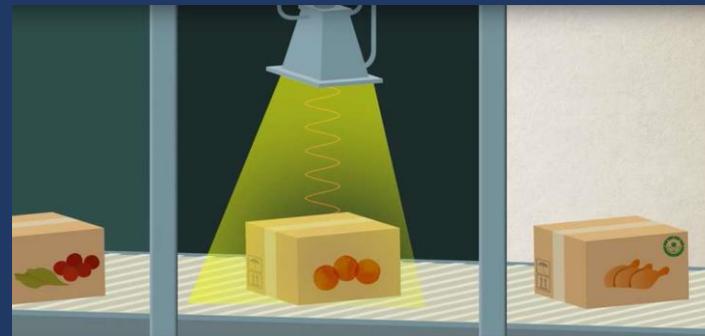
# Pasteurisation à froid en combinaison avec les films bioacifs



UV-C Light



Gamma Ray



eBeam

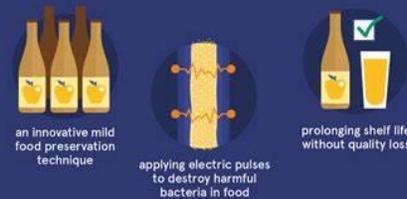


ALIMENTS SOUS HAUTE PRESSION



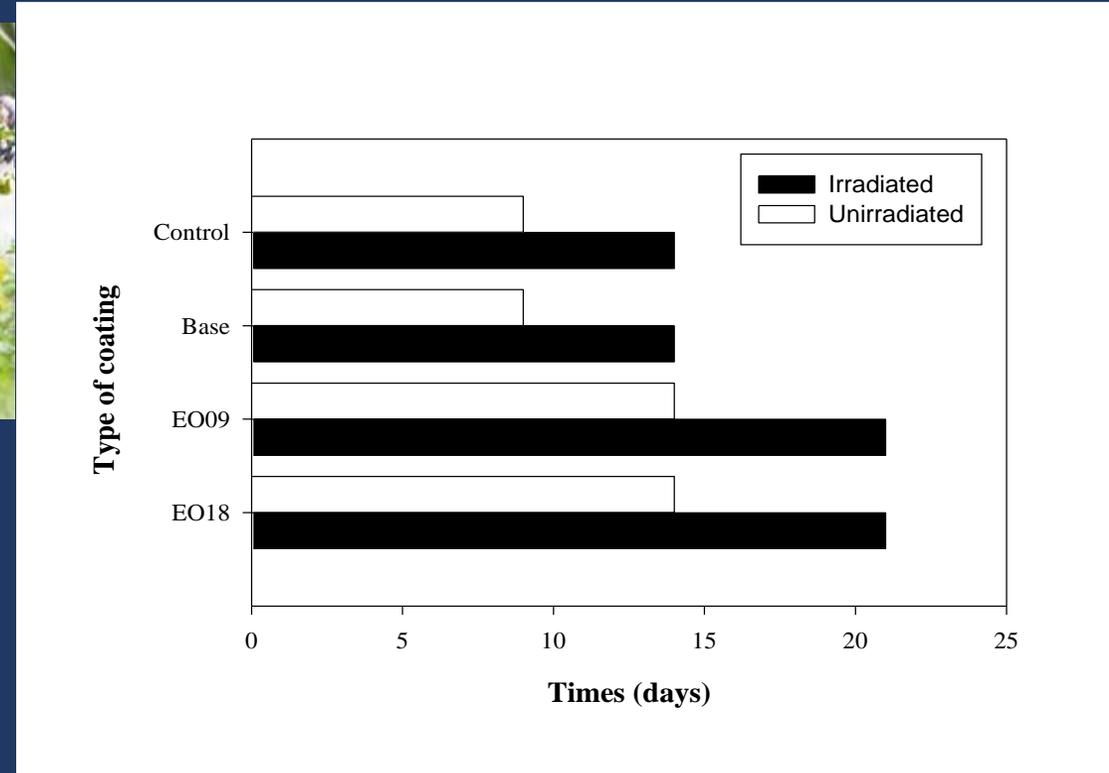
Ozoneur

What is Pulsed Electric Field (PEF)?



X-ray

# Film d'enrobage et $\gamma$ -irradiation



**Prolongation de la durée de conservation des crevettes**

**Effet de pasteurisation à froid: 5 jours**

**Effet du revêtement: 5 jours**

**Effet du revêtement et de pasteurisation à froid : 10 jours**

	J 1	J 2	J 5	J 8	J 9	J 15	Films-HPP-HILP
Contrôle	6.99±0.21 <sub>a</sub> <sup>AB</sup>	7.09±0.12 <sub>a</sub> <sup>B</sup>	7.08±0.15 <sub>a</sub> <sup>B</sup>	6.63±0.27 <sub>a</sub> <sup>A</sup>	6.83±0.28 <sub>a</sub> <sup>A</sup> B	7.88±0.47 <sub>a</sub> <sup>C</sup>	<i>L. Innocua</i> <i>Fèves vertes</i>
Enrobage	6.41±0.38 <sub>ab</sub> <sup>A</sup>	6.02±0.40 <sub>b</sub> <sup>B</sup>	6.23±0.34 <sub>b</sub> <sup>AB</sup>	5.45±0.18 <sub>b</sub> <sup>C</sup>	5.55±0.20 <sub>b</sub> <sup>C</sup> D	5.07±0.20 <sub>b</sub> <sup>D</sup>	<b>3 log réduction</b>
HHP	5.25±0.79 <sub>bc</sub> <sup>A</sup>	4.38±0.98 <sub>c</sub> <sup>B</sup>	3.00±0.58 <sub>c</sub> <sup>C</sup>	3.58±0.72 <sub>c</sub> <sup>BC</sup>	3.41±0.73 <sub>c</sub> <sup>C</sup> D	3.58±0.52 <sub>c</sub> <sup>D</sup>	<b>4 log réduction</b>
HILP	5.03±0.37 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	4.91±0.69 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	6.29±0.45 <sub>b</sub> <sup>B</sup>	6.08±0.41 <sub>ab</sub> <sup>B</sup>	6.55±0.25 <sub>a</sub> <sup>B</sup>	5.83±0.16 <sub>d</sub> <sup>B</sup>	<b>2 log réduction</b>
HHP + Enrobage	2.98±0.40 <sub>d</sub> <sup>AB</sup>	2.10±0.20 <sub>d</sub> <sup>B</sup>	2.12±0.30 <sub>d</sub> <sup>B</sup>	2.45±0.10 <sub>d</sub> <sup>AB</sup>	2.06±0.20 <sub>d</sub> <sup>B</sup>	3.15±0.20 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	<b>4 log réduction</b>
HILP + Enrobage +	4.56±0.04 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	4.38±0.20 <sub>c</sub> <sup>B</sup>	6.19±0.04 <sub>b</sub> <sup>C</sup>	5.77±0.18 <sub>ab</sub> <sup>BC</sup>	6.52±0.17 <sub>a</sub> <sup>C</sup>	6.07±0.25 <sub>d</sub> <sup>BC</sup>	<b>1.8 log réduction</b>

HPP: 4 °C/100MPa ; High Intensity Pulsed Light (HILP):12 J/cm<sup>2</sup> :

Int. J. Microbiol. 2014, 191, 82-88; Postharvest Biol. Technol. 2015, 106, 21-32,

	J 1	J 2	J 5	J 8	J 12	J 15
Control	5.88±0.11 <sub>a</sub> <sup>A</sup>	6.11±0.23 <sub>a</sub> <sup>AB</sup>	6.20±0.18 <sub>a</sub> <sup>B</sup>	6.85±0.09 <sub>a</sub> <sup>C</sup>	7.62±0.19 <sub>a</sub> <sup>D</sup>	7.99±0.14 <sub>a</sub> <sup>E</sup>
Enrobage	3.86±0.21 <sub>b</sub> <sup>AB</sup>	3.95±0.19 <sub>b</sub> <sup>AB</sup>	3.45±0.10 <sub>b</sub> <sup>C</sup>	3.71±0.08 <sub>b</sub> <sup>A</sup>	3.75±0.14 <sub>b</sub> <sup>A</sup>	4.03±0.25 <sub>b</sub> <sup>B</sup>
UV-C	4.98±0.35 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	5.37±0.21 <sub>c</sub> <sup>B</sup>	5.37±0.25 <sub>cd</sub> <sup>B</sup>	5.04±0.14 <sub>c</sub> <sup>AB</sup>	5.05±0.16 <sub>c</sub> <sup>AB</sup>	6.07±0.36 <sub>cd</sub> <sup>C</sup>
Ozone	5.47±0.41 <sub>d</sub> <sup>AB</sup>	5.43±0.07 <sub>c</sub> <sup>AB</sup>	5.23±0.17 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	5.57±0.30 <sub>d</sub> <sup>AB</sup>	5.29±0.43 <sub>cd</sub> <sup>A</sup>	5.82±0.01 <sub>c</sub> <sup>B</sup>
γ ray	5.61±0.11 <sub>ad</sub> <sup>A</sup>	5.64±0.09 <sub>c</sub> <sup>A</sup>	5.60±0.09 <sub>d</sub> <sup>A</sup>	5.54±0.15 <sub>d</sub> <sup>A</sup>	5.69±0.05 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	5.97±0.28 <sub>c</sub> <sup>B</sup>
UV-C + enrobage	3.05±0.15 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	2.96±0.29 <sub>d</sub> <sup>A</sup>	2.82±0.18 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	2.94±0.11 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	2.90±0.10 <sub>f</sub> <sup>A</sup>	3.00±0.10 <sub>e</sub> <sup>A</sup>
Ozone + enrobage	4.46±0.18 <sub>f</sub> <sup>A</sup>	4.30±0.25 <sub>e</sub> <sup>A</sup>	4.76±0.26 <sub>f</sub> <sup>A</sup>	4.70±0.38 <sub>f</sub> <sup>A</sup>	5.40±0.37 <sub>de</sub> <sup>B</sup>	6.40±0.35 <sub>d</sub> <sup>C</sup>
γ ray + enrobage	2.64±0.22 <sub>g</sub> <sup>A</sup>	2.73±0.23 <sub>d</sub> <sup>A</sup>	ND	ND	ND	ND

*L. Innocua*  
Fèves vertes  
Film:UVC;  
Ozone;Y-ray

4 log réduction

2 log réduction

2 log réduction

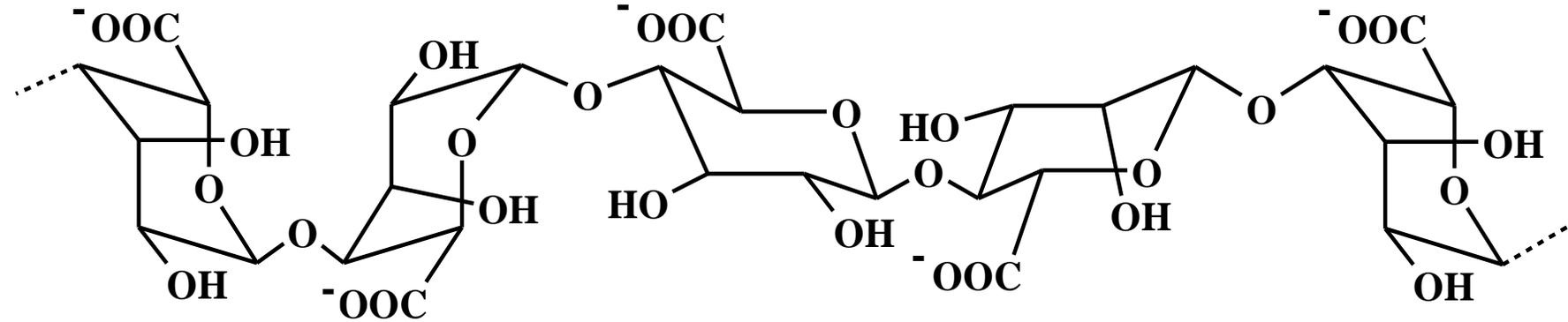
2 log réduction

5 log réduction

1.5 log réduction

8 log réduction

500 ml eau ozonée (7 ± 0.5 ppm); UV-C: 0.8 J/cm<sup>2</sup> ; γ-irradiation: 0.25 kGy; enrobage: 3% N-palmitoyl chitosan



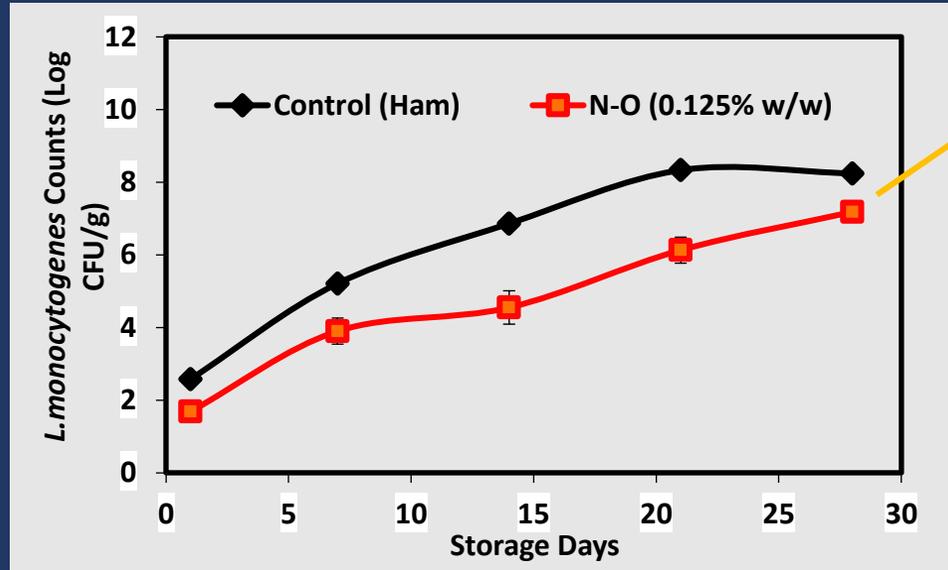
**Alginate polymère utilisé comme épaississant mais aussi pour immobiliser des composés bioactifs**

**Production industrielle:  
30 000 metric tonnes /an**

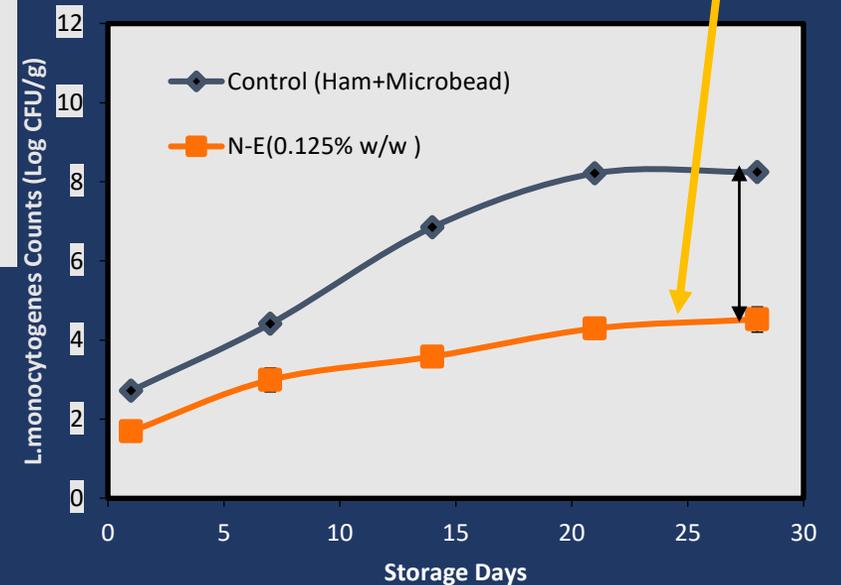
**Fabrication de microbilles pour encapsuler des antimicrobiens  
et combinaison de traitements avec les rayons Gamma**



# Encapsulation d'huiles essentielles et de bactériocines (peptides antimicrobiens) dans des micro billes à base d'alginate et de CNCs et inhibition de *Listeria monocytogenes* dans du jambon

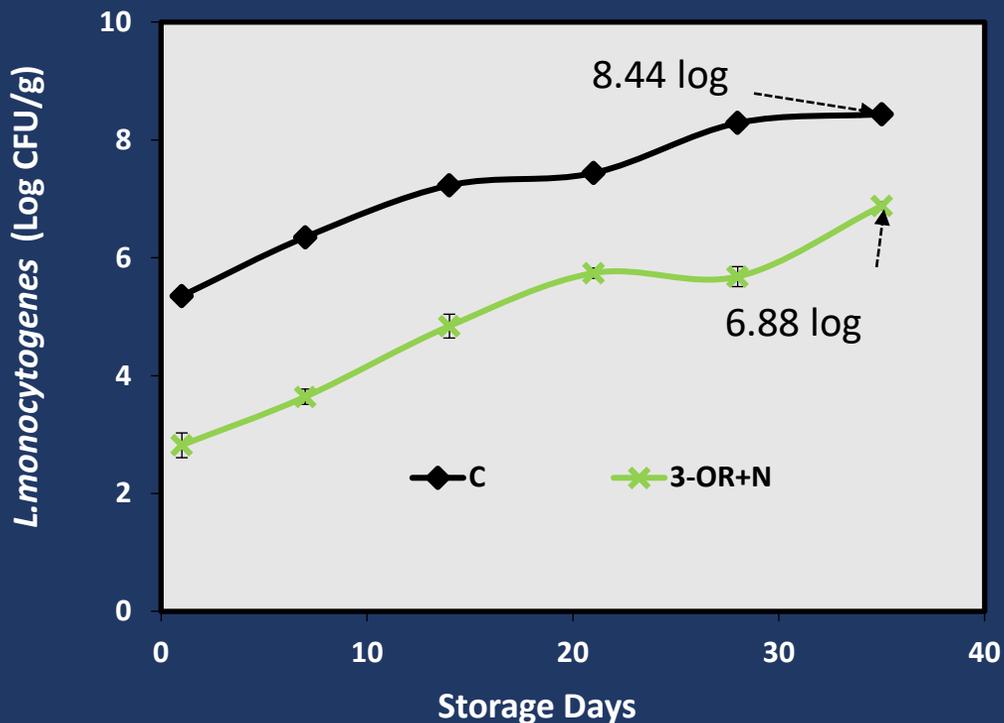


N-inhibition 1.06 log CFU/g  
N E- inhibition 3.72 log CFU/g

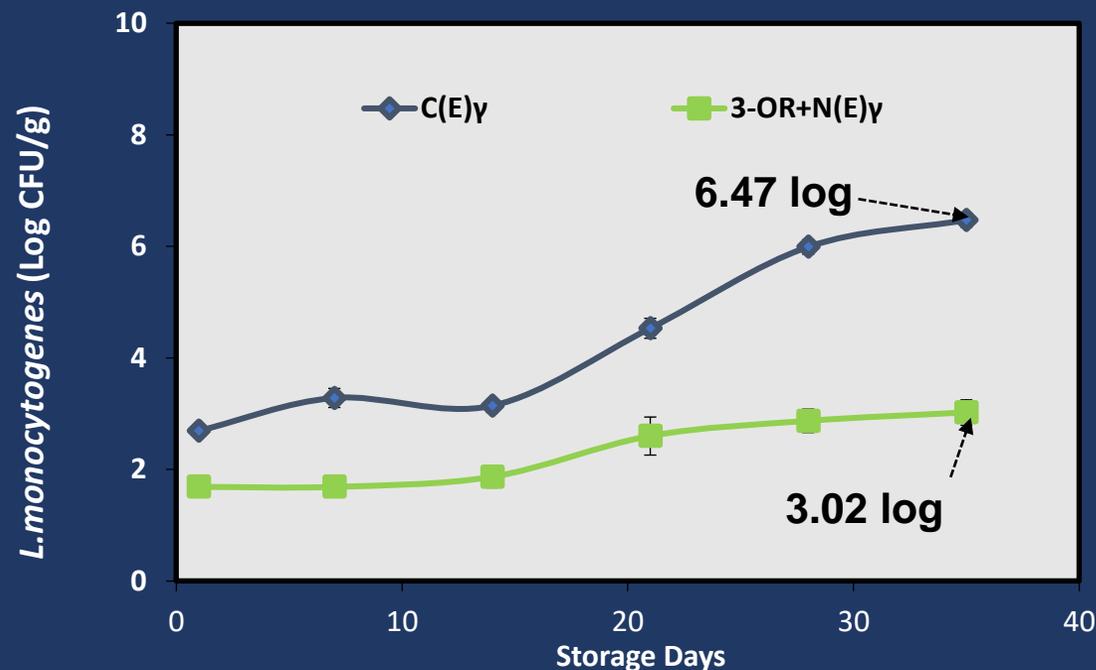




# Combinaison de traitement: microbilles bioactives et pasteurisation à froid : $\gamma$ -irradiation



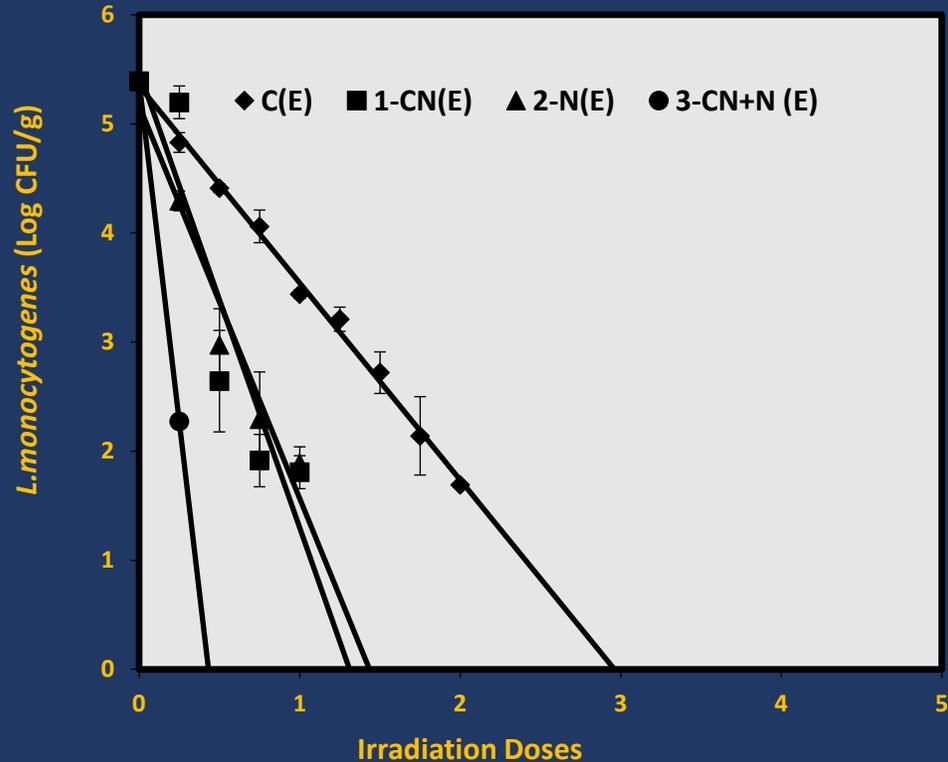
Effet des antimicrobiens libres:  
1.56 log CFU/gr réduction



Effet de la pasteurisation à froid: 1.97 log UFC/gr  
Effet des antimicrobiens encapsulés et pasteurisation à froid : 5.42 log UFC/gr réduction



# Sensibilisation bactérienne: Synergie entre les antimicrobiens encapsulés et pasteurisation à froid



## Sensibilisation

N (E): 1.95

N: 1.94

CN (E): 2.62

CN: 2.18

CN-N(E): 6.89

CN-N: 3.57

*Listeria monocytogenes* sur jambon

CN: Cinnamon; N:Nisine  
(E): encapsulated

Huq et al., 2015 Food Microbiology 46, 507-514.

# **Films antimicrobiens Bioactifs avec des antimicrobiens sous forme de nanoémulsion**

**Augmentation du pouvoir antimicrobien**

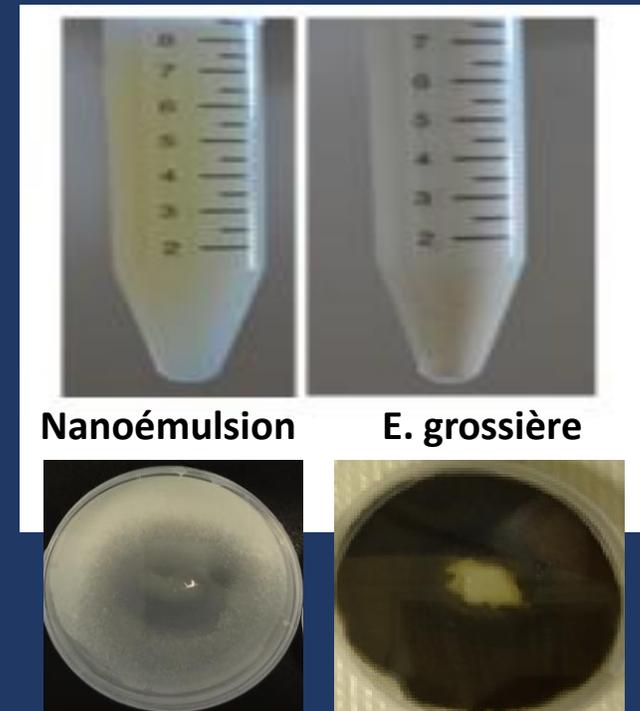
**Synergie avec la pasteurisation à froid**

**Huiles essentielles (Eos) pour concevoir de nouveaux systèmes de diffusion présentant des avantages concurrentiels nanoémulsion** préparation de nanoémulsion : pression à 15,000 psi et 3 cycles de passage.

**Efficacité d'encapsulation et propriétés antifongiques %**

Caractéristiques	Nanoémulsion	Émulsion grossière
Grosueur des goutelletes	71 nm	219 nm
PDI (index polydispersité)	0.20	0.45
Efficacité Encapsulation	83%	37%
Activité antifongique	81%, stable pendant 1 mois	32%, pendant 3 jours

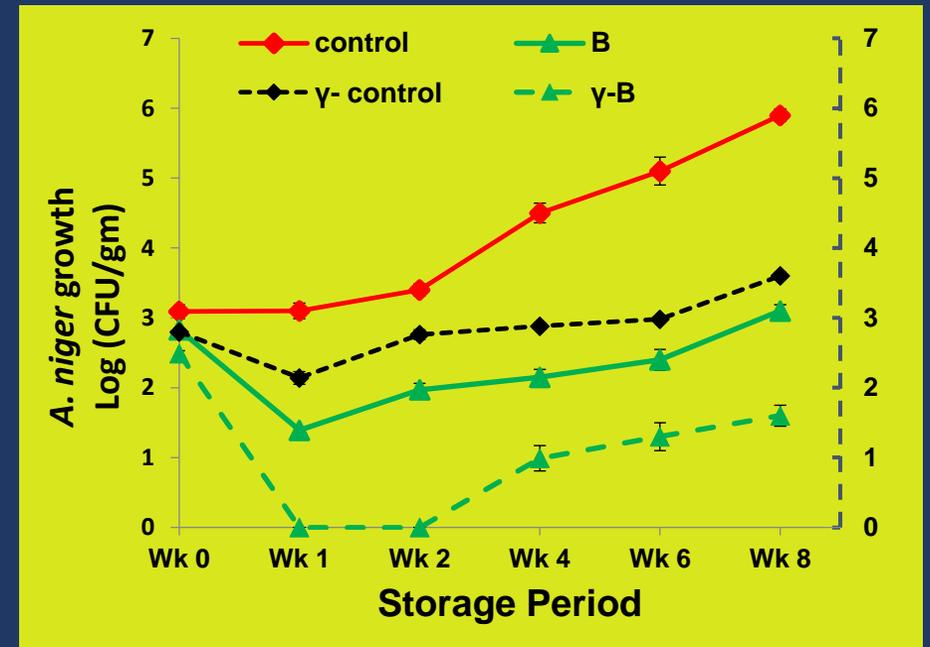
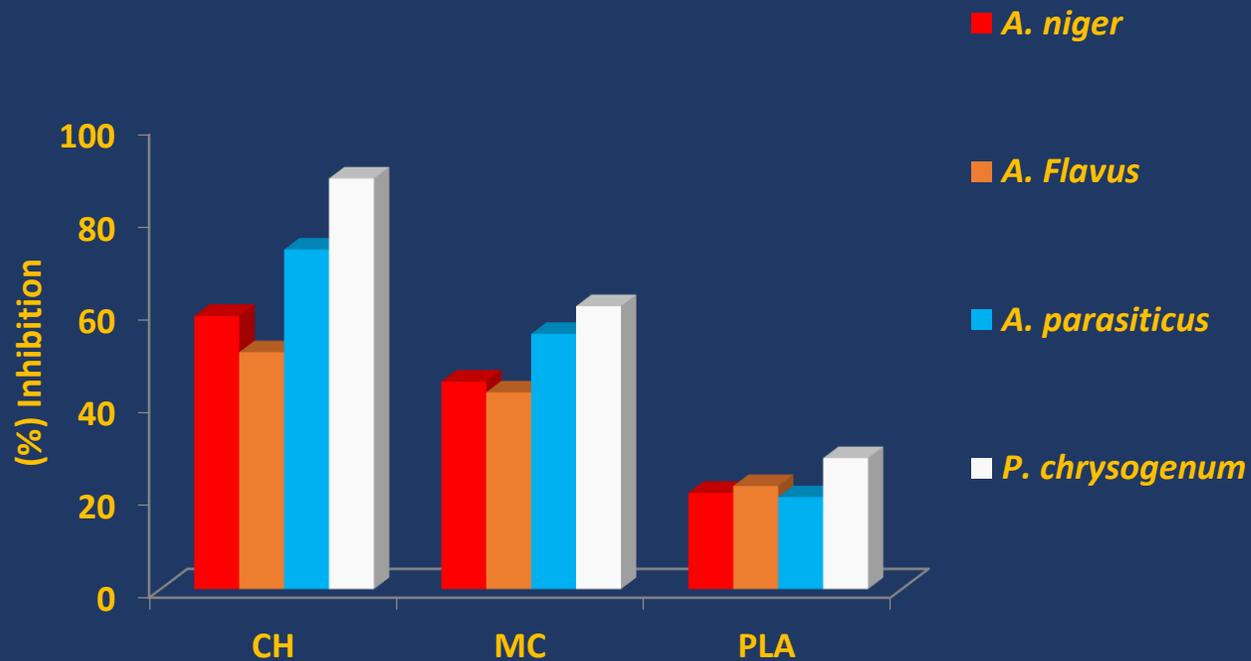
*Visualiation après 2 mois*



*Activité antifongique : A. niger*

**Une petite valeur de PDI signifie une distribution plus homogène**

# Films bioactifs nanocomposite contenant 0.75% Eos et combinaison de traitements: Y-irradiation



films bioactifs contenant de l' Origano : Thym

CH: Chitosane MC: Méthylcellulose PLA: Poly lactic acid

# FILMS BIOACTIFS À BASE DE CHITOSANE APRÈS 8 SEMAINES

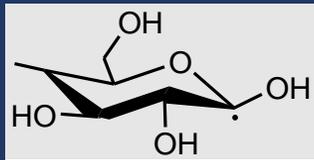


# **Greffage de molécules bioactives sur les biofilms**

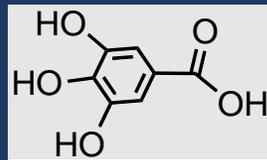


# Greffage de molécules bioactives sur la Cellulose Nanocrystalline (CNCs)

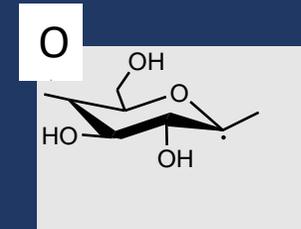
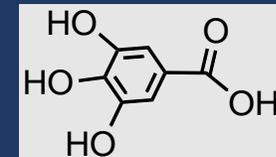
## Greffage de l'acide gallique



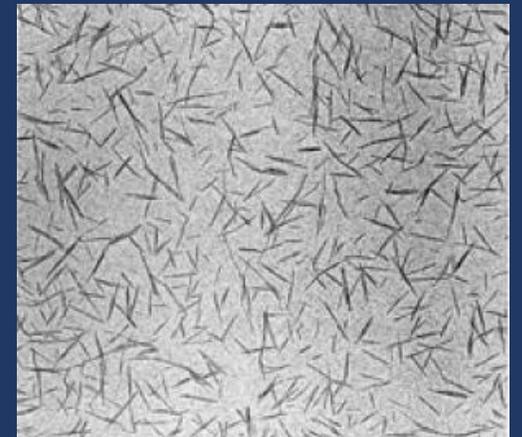
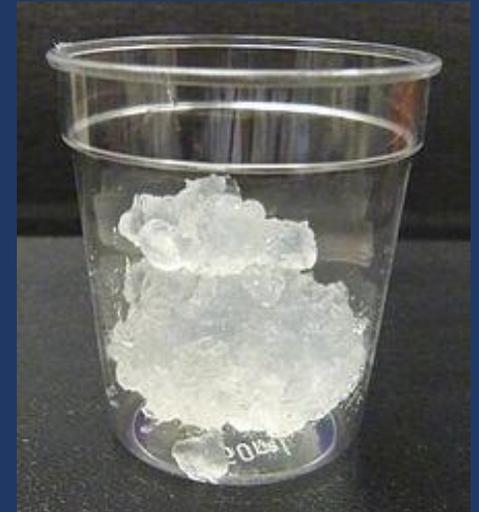
CNCs



acide Gallique

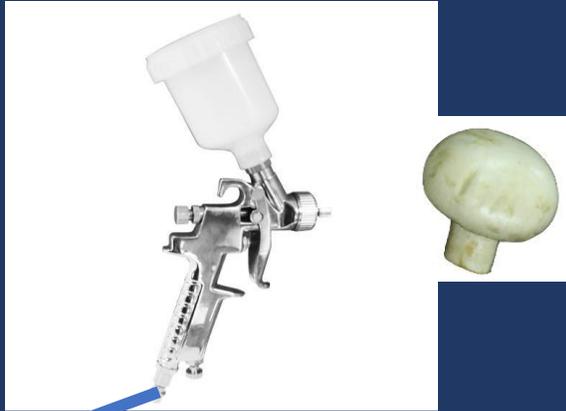


CNC-acide Gallique



Khan *et al.*, 2010. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 7878-85  
Khan *et al.*, 2014, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54:163–174.  
Boumail *et al.*, 2013. *J. Agric. Food Chem.*, 61, 811-21  
Huq *et al.*, 2015 *Food Microbiology* 46, 507-514

# Enobage bioactif et inhibition de l'oxydation



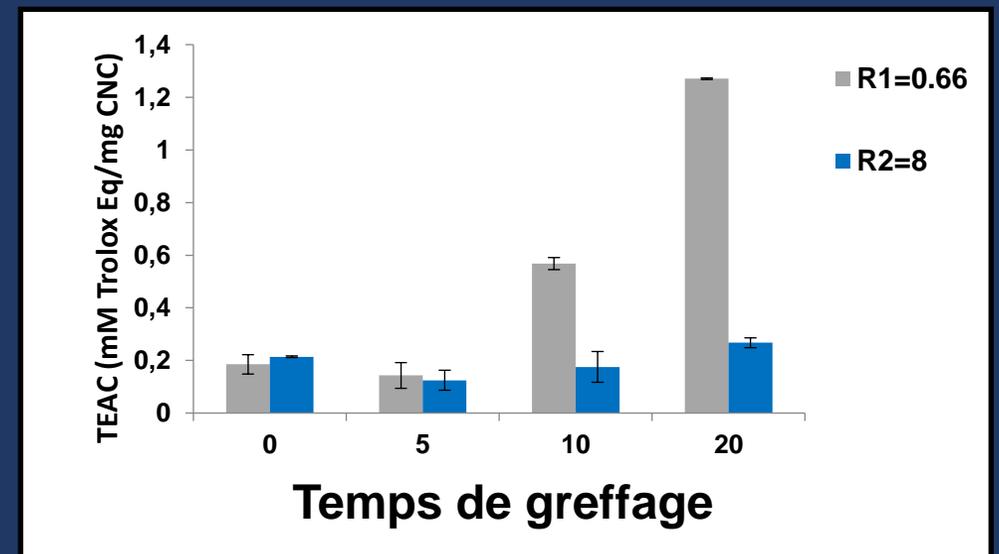
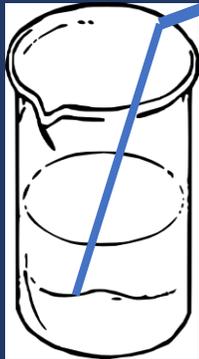
Champignon enrobé 24 jours à 4°C



Champignon contrôle 24 jours à 4°C

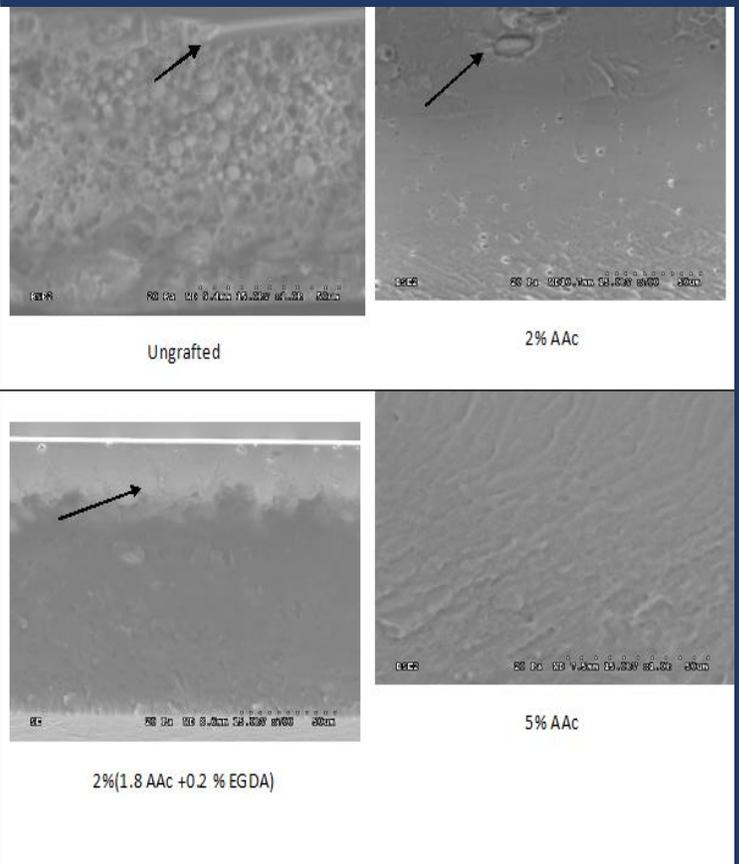


Enrobage à base de gomme gellane, glycérol et CNC-acide guallique

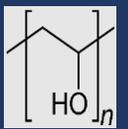


Criado et al., 2015 *Industrial Biotechnology*, vol.11, no.1 , 59-68.  
Criado et al., 2016 *Rad. Phys. Chem.* 118, 61-69.; 2017 *Cellulose*, 24, 2111-2124;  
Criado et al., 2020 *J. Food Processing & Preservation* <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14846>.

# Films à base de Zéine: greffage de l'acide acrylique et compatibilization

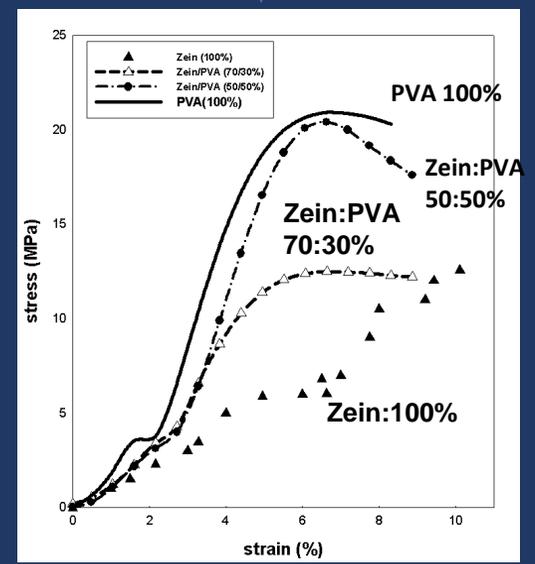
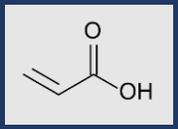


- Zéine/PVA: 100:0; 70:30; 50:50; 0:100



• +

Acide acrylique (Aac): 2, 5 %



Greffage de AAc sur la zéine et le PVA : réduction de la tension interfaciale

Senna et al., 2010 J. Agric. Food Chem., 58, p. 4470-4476

# **Fabrication de films multicouche Bioactifs**

# Films de diffusion antimicrobiens pour légumes frais/congelés

Film tri-couches fabriqué par évaporation et par compression à chaleur comme support de diffusion d'antimicrobiens volatils dans des emballages contenant des légumes frais/congelés.

Les agents antimicrobiens ont été encapsulés dans la couche interne à base d'hydrocolloïdes

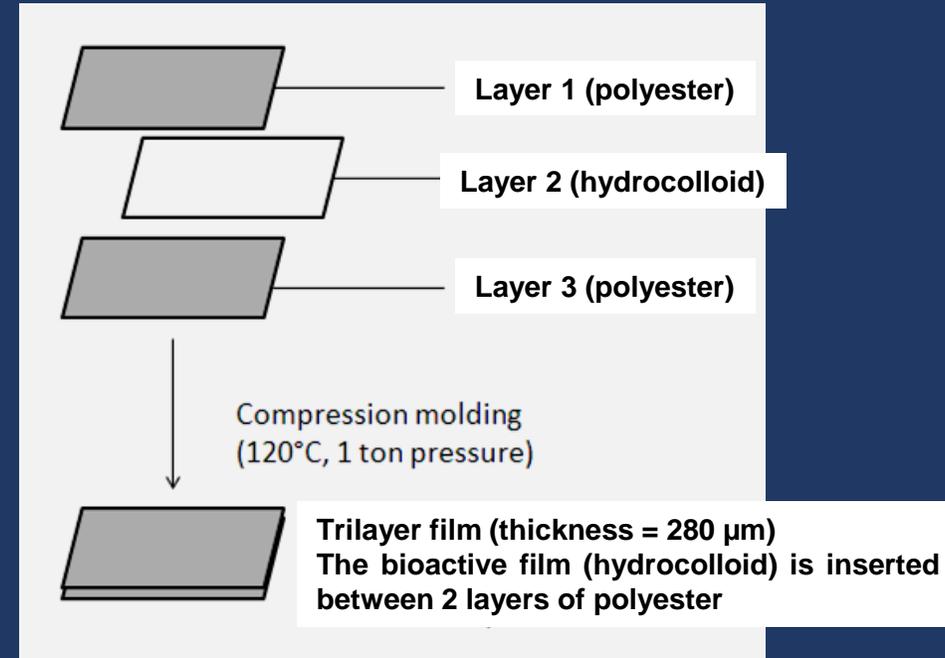
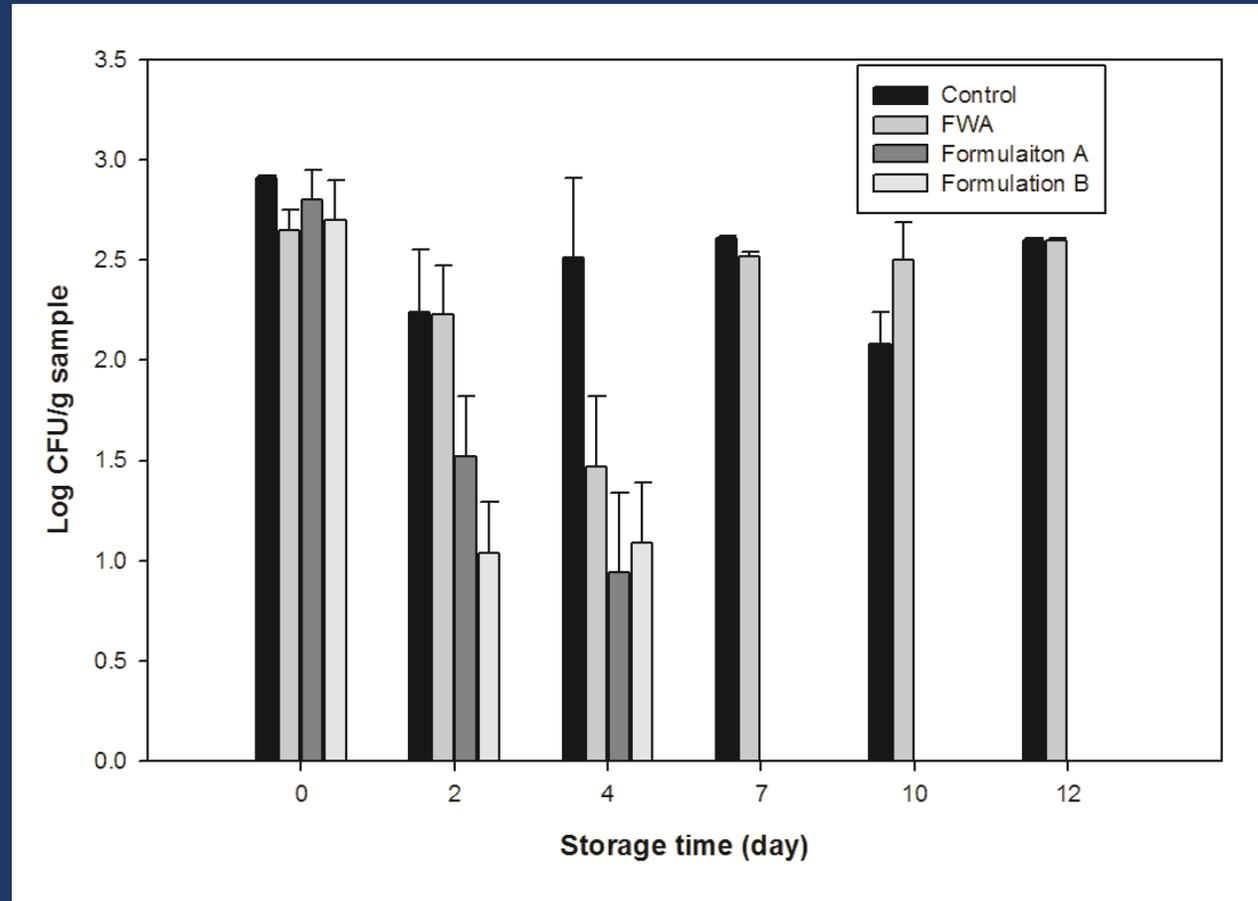
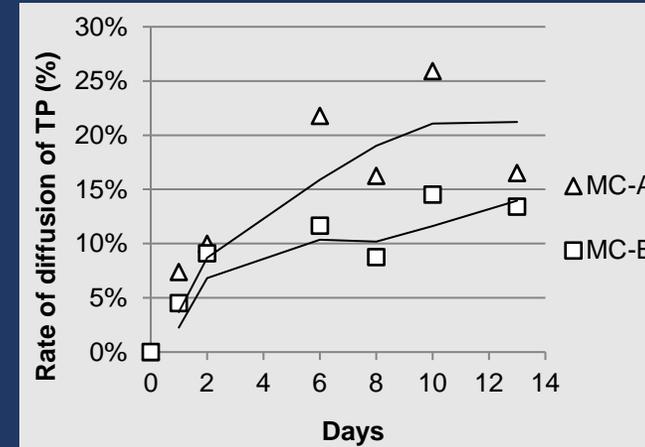
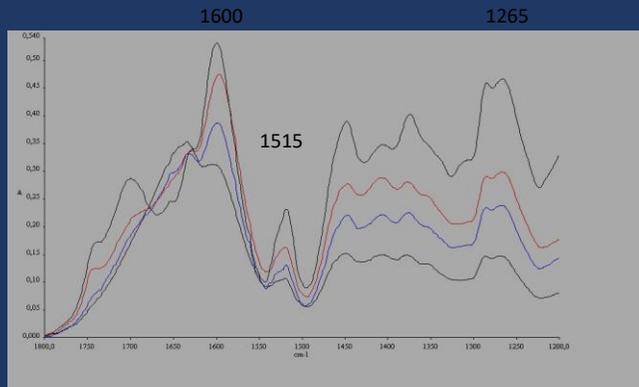


Schéma de principe du procédé de ``compression molding`` pour la fabrication de films de diffusion bioactifs tri-couches

# Film tri couche et inhibition de la *Salmonella Typhimurium* sur le Broccoli



# Films de diffusion - Évaluation du taux de diffusion des agents antimicrobiens par analyse FTIR



Détermination du taux de diffusion des antimicrobiens volatils préalablement encapsulés dans les films. Possibilité de quantifier la libération contrôlée au cours du temps.

1600 and 1515  $\text{cm}^{-1}$  : aromatic stretching modes  
1265  $\text{cm}^{-1}$  : ester antisymmetric stretching mode



# CONCLUSIONS

- **Les déchets alimentaires** sont des sources inestimées de produits de haute valeurs pouvant servir pour différentes applications: en nutraceutique, en alimentation animale et humaine, en pharmaceutique, comme source d'énergie, et pour la fabrication de films biosourcés et bioactifs.
- **L'application de la nanotechnologie** permettra le développement de nouvelles technologies et des films avec de bonnes performances mécaniques
- **L'utilisation de la nanocellulose et le développement de réactions de réticulations ou de greffages** ont d'énorme potentiels pour le développement de biofilms ayant de bonnes propriétés mécaniques, physico-chimiques et bioactives.
- **Le développement de biofilms bioactifs** permettra de réduire le niveau de déchets alimentaires et de déchets provenant des emballages non biodégradables
- **La mise au point de traitements combinés:** films bioactifs avec pasteurisation à froid a d'énormes potentiels pour assurer la salubrité alimentaire et pour réduire les pertes alimentaires.



# Remerciements

Ce projet est financé par l'entremise du Programme Innov'Action agroalimentaire, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.



Partenaire de l'INRS : PROX-Industriel

