



Observations au MEB environnemental pour évaluer la morphologie de surface des fruits et le dépôt de revêtements comestibles fonctionnels à leur surface

Emma Pignères, Karine Janel, Ramzi Khiari, Cécile Sillard, Naceur Belgacem, Raphaël Passas, Julien Bras

emma.pigneres@grenoble-inp.fr



UMR 5518 CNRS



Contexte global



Credits: Astrid860



1/3 de la production alimentaire mondiale est gaspillée
Fruits et légumes = 2^{ème} catégorie d'aliments les plus gaspillés⁽¹⁾

L'emballage est le 1^{er} consommateur de plastiques (44% de la production mondiale)⁽²⁾



Credits: Alberto Pomares



DurlinnPack

Innovative Packaging and edible coatings to guarantee post-harvest Durability of Mediterranean fruits and vegetables production

8 laboratoires partenaires, autour du bassin méditerranéen

University of Cordoba (Espagne), CRAPC (Algérie), CSIC-EEZ (Espagne), LGP2 (France), UNIMI (Italie), UMP (Maroc), IPB (Portugal), ISETKH (Tunisie)

Principal objectif du projet post-doctoral: Comprendre les phénomènes d'interface et d'adhésion entre les revêtements comestibles et la surface des fruits



(1) FAO (2019)

(2) Plastics – the Facts 2022, Plastics Europe (2022)

Axe 1: PRODUCTION DU REVÊTEMENT

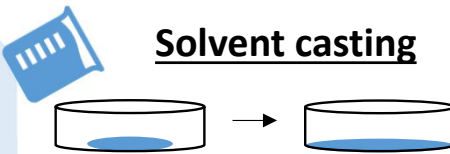
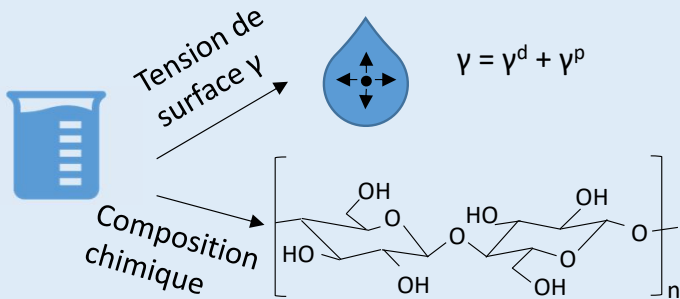
Formulation

- Matrice**
- Dérivés de cellulose
 - Chitosane
- Additifs fonctionnels**
- Charges**
- Nanofibrilles de cellulose
 - Nanochitine

Polymères provenant de déchets agricoles et agro-alimentaires

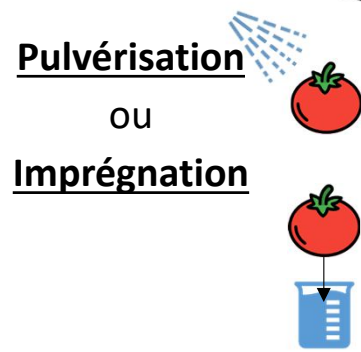
Caractérisation du revêtement

- Propriétés rhéologiques
- Propriétés de surface du revêtement

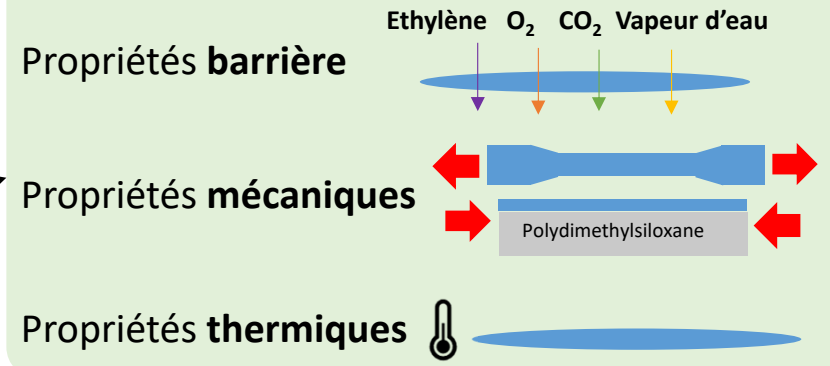


Production de films

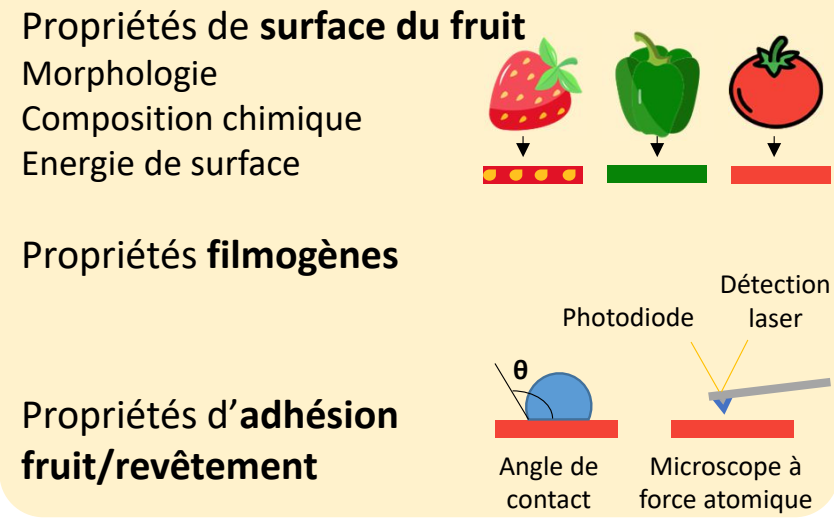
Dépôt de revêtements



Axe 2: PROPRIETES DU FILM



Axe 3: ADHESION ENTRE LE FRUIT ET LE REVÊTEMENT



+ Durabilité du revêtement et evolution des propriétés de surface et d'adhésion au cours du temps (T₃°C, HR)

Axe 1: PRODUCTION DU REVÊTEMENT

Formulation

Matrice

- Dérivés de cellulose
- Chitosane

Additifs fonctionnels

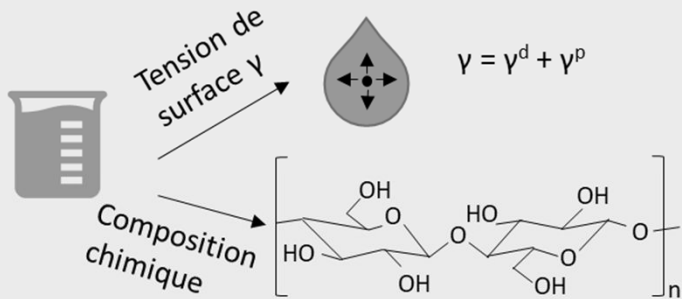
Charges

- Nanofibrilles de cellulose
- Nanochitine

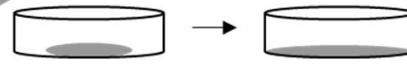
Polymères provenant de déchets agricoles et agro-alimentaires

Caractérisation du revêtement

- Propriétés **rhéologiques**
- Propriétés de **surface du revêtement**



Solvent casting



Production de films

Dépôt de revêtements

Pulvérisation

ou

Imprégnation



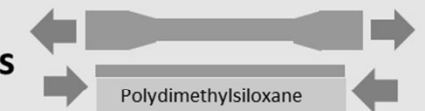
Axe 2: PROPRIETES DU FILM

Propriétés barrière

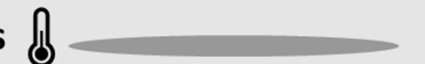
Ethylène O₂ CO₂ Vapeur d'eau



Propriétés mécaniques



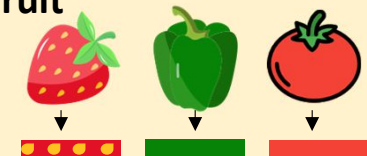
Propriétés thermiques



Axe 3: ADHESION ENTRE LE FRUIT ET LE REVÊTEMENT

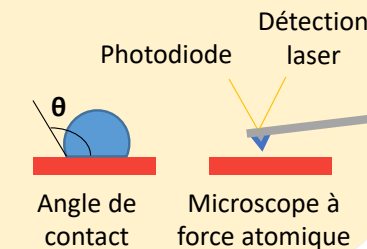
Propriétés de surface du fruit

- Morphologie
- Composition chimique
- Energie de surface



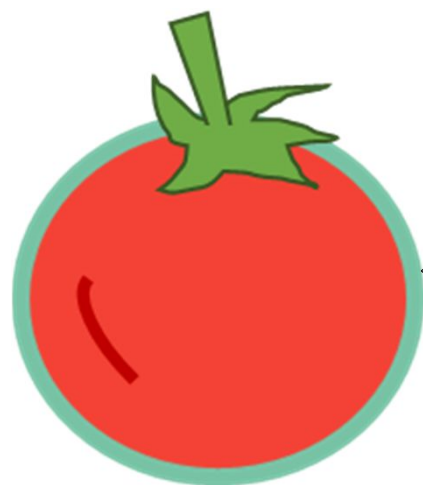
Propriétés filmogènes

Propriétés d'adhésion fruit/revêtement



+ Durabilité du revêtement et evolution des propriétés de surface et d'adhésion au cours du temps (T°C, HR)

Phénomènes d'adhésion



Adhésion =



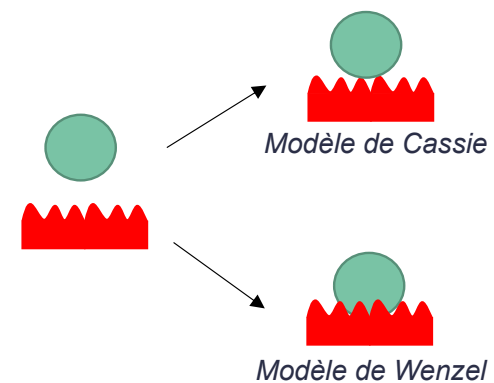
+

Adhésion chimique

Adhésion mécanique



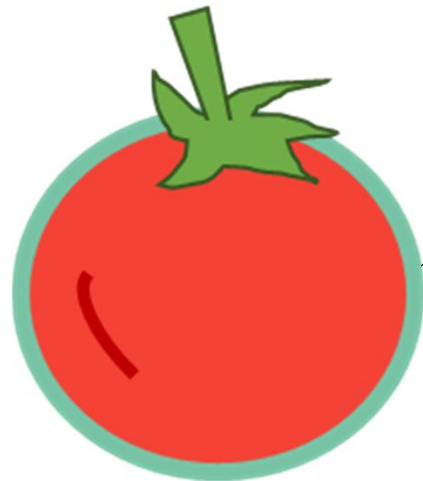
- Composition chimique
- Energie de surface
- Tension de surface



- Rugosité de surface
- Morphologie

Phénomènes d'adhésion

Utilisation du MEB pour évaluer



Adhésion chimique

Adhésion =



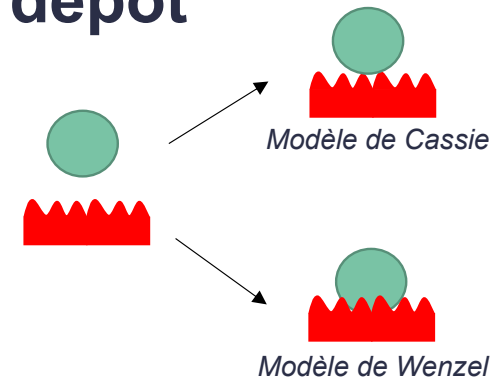
+

Homogénéité du dépôt

Adhésion mécanique



- Composition chimique
- Energie de surface
- Tension de surface



- Rugosité de surface
- **Morphologie**⁶

MEB environnemental pour observer la surface du fruit hydratée

25/04/2026

Agenda

- 1) Evaluation de la **morphologie de surface** des fruits et **impact de l'humidité relative**



- 2) Vérification du **dépôt de revêtements à la surface des fruits**



- 3) Conclusions et perspectives



Evaluation de la **morphologie** **de surface** des fruits et impact de l'**humidité relative**



UMR 5518 CNRS



25/04/2026

Matériels & Méthodes




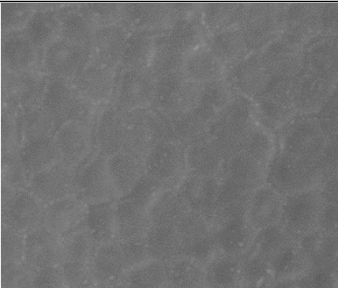
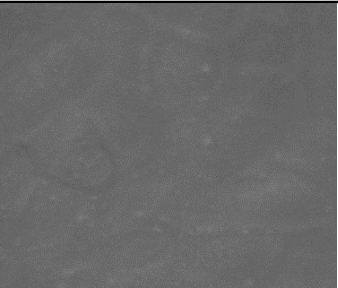
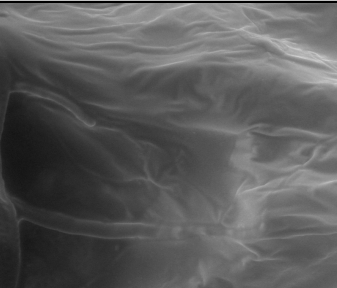
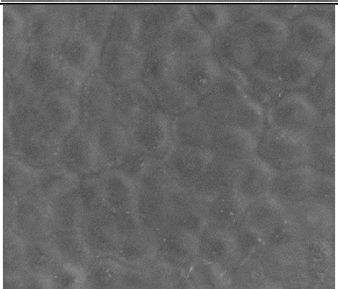
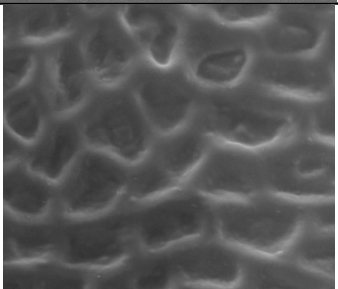
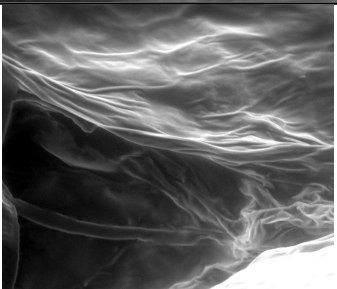
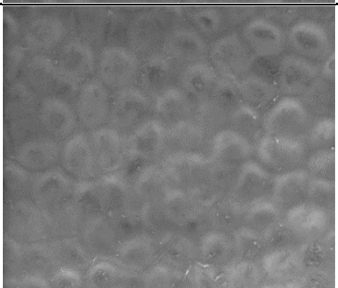
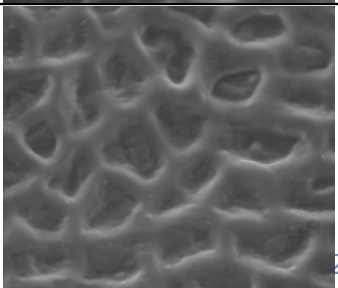
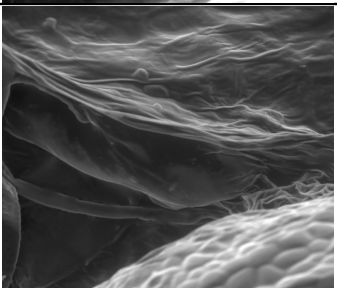
- 3 fruits étudiés et récoltés chez un maraîcher (**tomate, poivron**) ou un particulier (**fraises**)



- Fruits rincés à l'eau distillée puis séchés avec une lingette de précision
- Observation au MEB **environnemental** (FEI – QUANTA 200)
 - Observation des fruits **hydratés**
 - Haute tension : 15 kV
 - Purges : 4 entre 1067 et 2000 Pa
 - Taille du spot : 5
 - Distance de travail : 9-11mm
 - Température : 5°C
 - 853 Pa (98.2% RH) à 267 Pa (30.6% RH)
 - 15 min de stabilisation entre chaque étape



Impact de l'humidité relative

5°C	Pressure (Pa)	RH (%)			
	800	92,1%			
	533	61,3 %			
	267	30,6%			

100µm

Det	HV	Mag	WD	Spot	Temp
GSED	15.0 kV	400x	10.7 mm	5.0	5.0 °C

Morphologies très différentes d'un fruit à l'autre

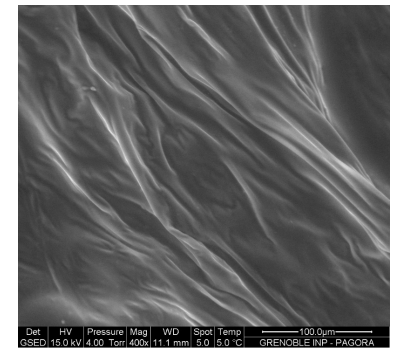
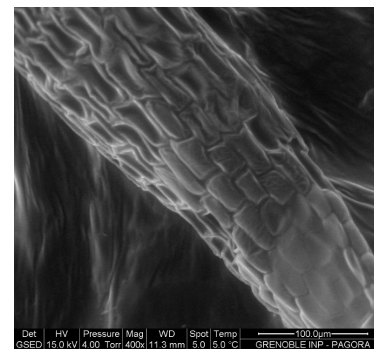
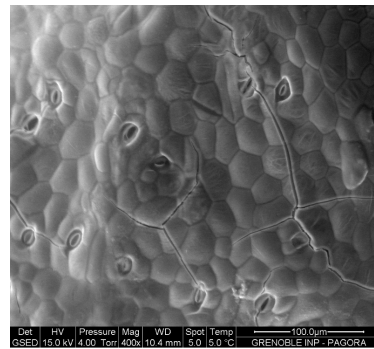
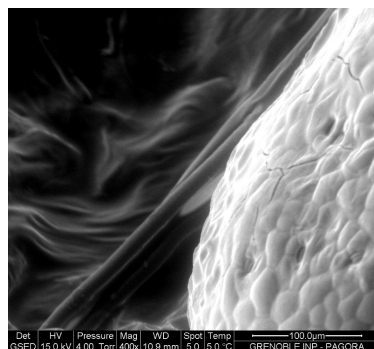
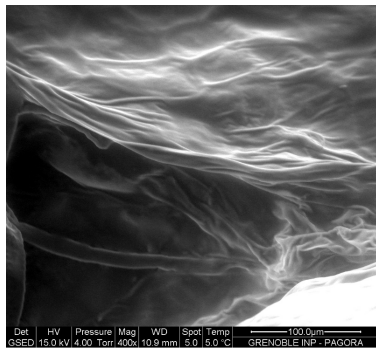
Impact de l'humidité relative

Morphologie de surface des fruits



100µm

5°C - 61,3 % HR



- Permet d'évaluer qualitativement les différences de morphologies de surface de différents fruits
- Meilleure compréhension des hétérogénéités de surface



MEB environnemental : un outil pour vérifier le dépôt de revêtements à la surface des fruits



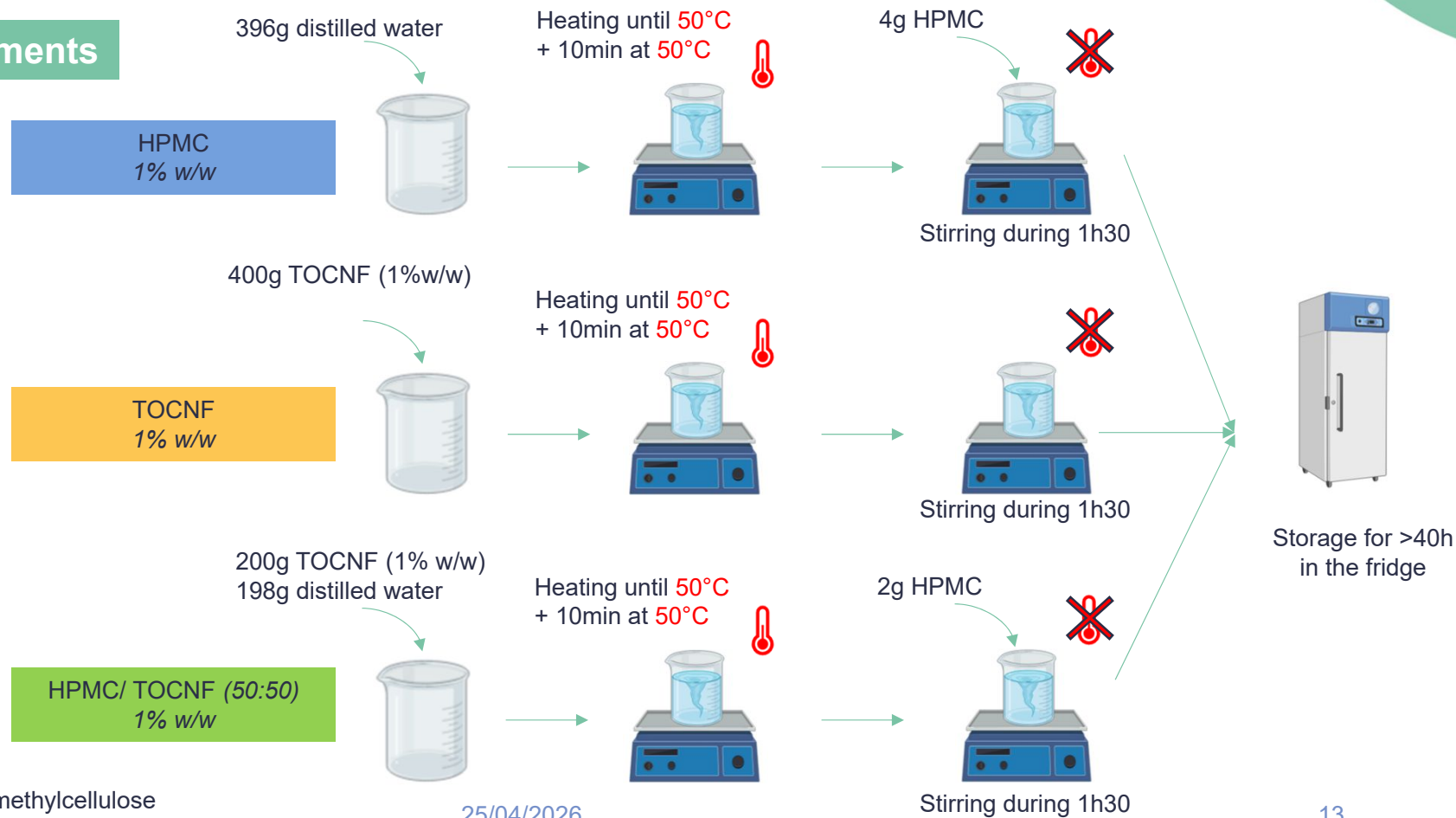
UMR 5518 CNRS



25/04/2026

Prédiction de l'adhésion

Préparation de 3 revêtements

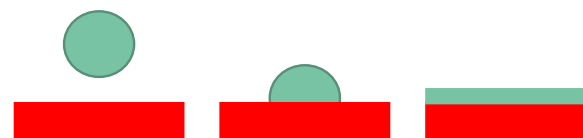


HPMC : hydroxypropylmethylcellulose
TOCNF : nanocelluloses tempo-oxydées

25/04/2026

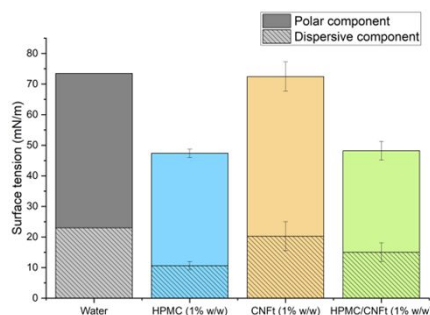
Prédiction de l'adhésion

Adhésion chimique



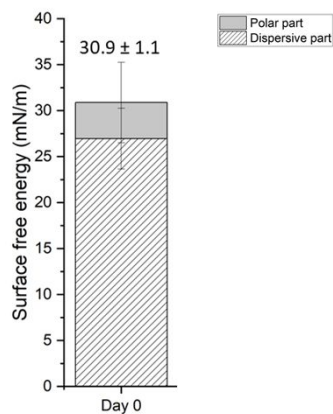
Owens-Wendt: $W_A = \gamma_L(1 + \cos \theta) = 2\sqrt{\gamma_L^D \gamma_S^D} + 2\sqrt{\gamma_L^P \gamma_S^P}$

Propriétés du revêtement



Tension de surface

Propriétés du fruit

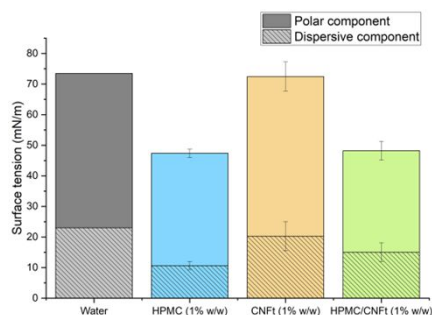


Energie de surface

Prédiction d'angles de contact (CA in °) et travail d'adhésion (WA in mN/m)				
	Jour 0 (récolte)			
	Prédit			
	CA	WA		
HPMC 1% w/w	77.15	57.9		
TOCNF 1% w/w	87.71	75.4		
HPMC/TOCNF 1% w/w	72.06	63.1		

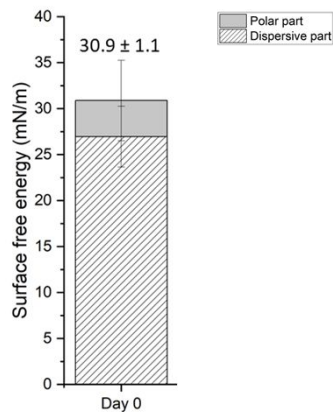
Prédiction de l'adhésion

Propriétés du revêtement



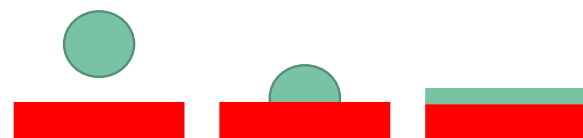
Tension de surface

Propriétés du fruit



Energie de surface

Adhésion chimique



$$\text{Owens-Wendt: } W_A = \gamma_L(1 + \cos \theta) = 2\sqrt{\gamma_L^D \gamma_S^D} + 2\sqrt{\gamma_L^P \gamma_S^P}$$

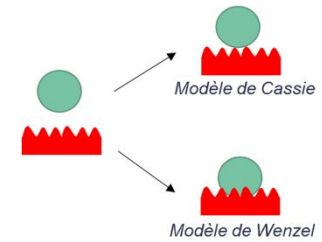
Prédiction d'angles de contact (CA in °) et travail d'adhésion (WA in mN/m)

	Jour 0 (récolte)			
	Prédit		Mesuré	
	CA	WA	CA	WA
HPMC 1% w/w	77.15	57.9	74.9 ± 5.4	59.7
TOCNF 1% w/w	87.71	75.4	84.4 ± 10.0	79.6
HPMC/TOCNF 1% w/w	72.06	63.1	74.7 ± 7.7	60.9

Prédiction proche des mesures, mais grande variabilité mesurée

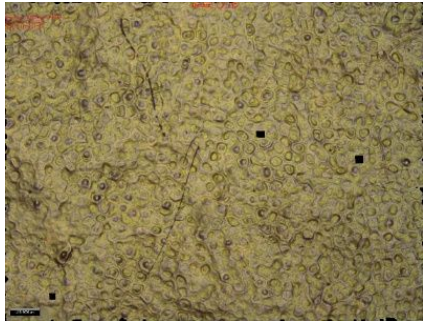
Prédiction de l'adhésion

Adhésion mécanique

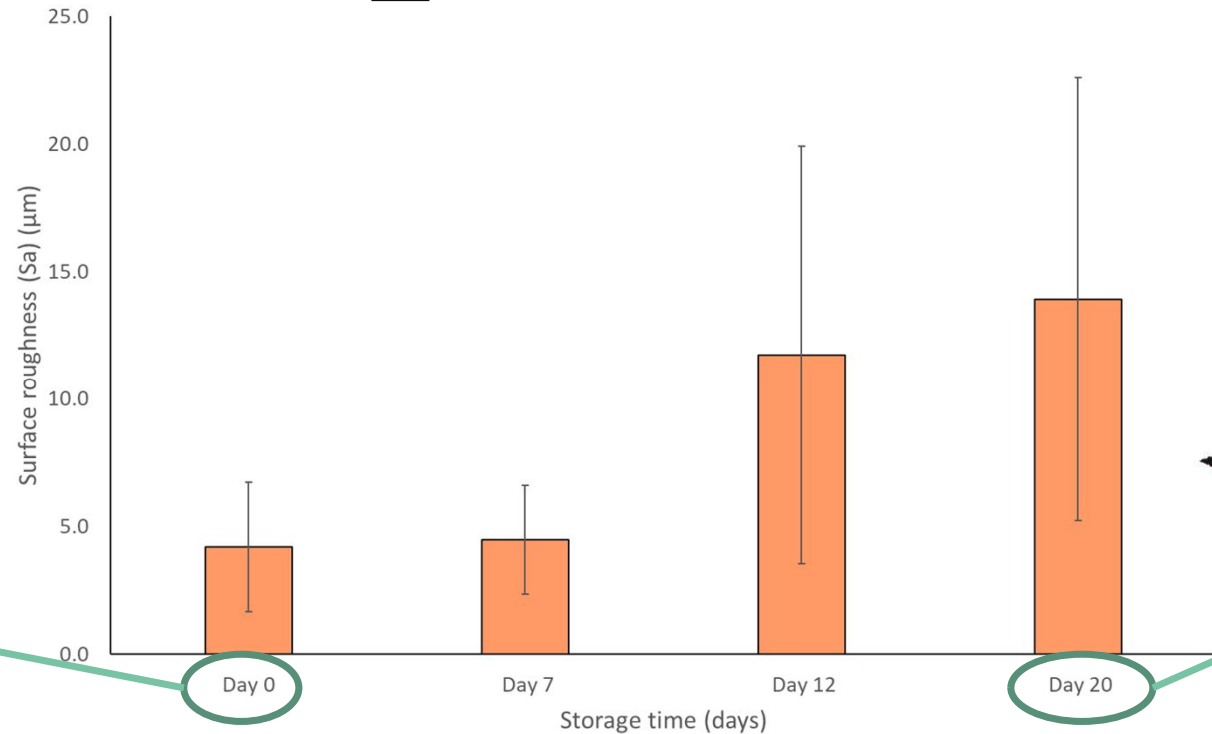


Jour 0

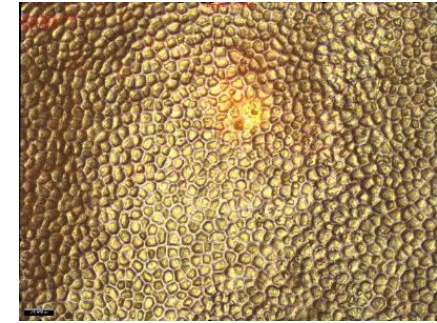
Focus x 10
Surface de 1.5 mm²



Rugosité de surface (Sa)



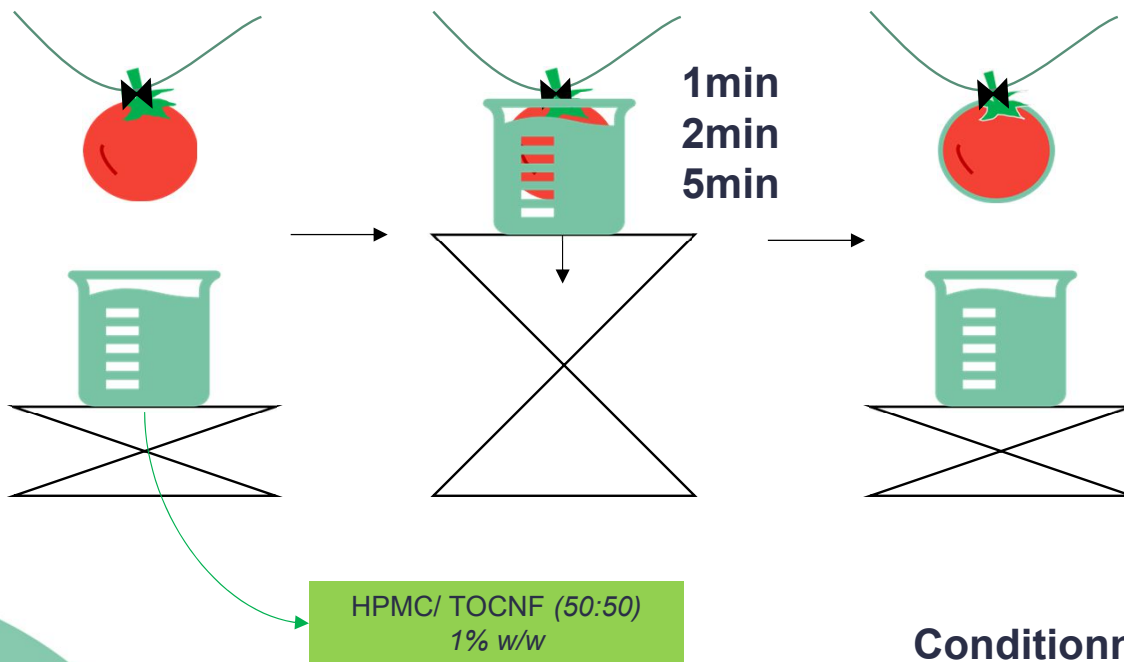
Jour 20



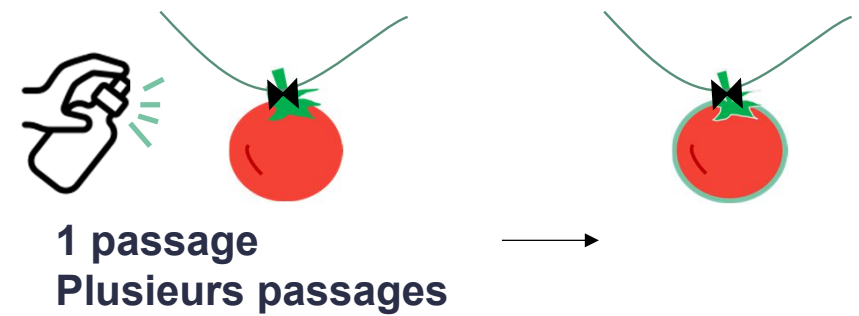
La variabilité peut s'expliquer par la variabilité de rugosité de surface observée

Vérification du dépôt

Application du revêtement par imprégnation



Application du revêtement par pulvérisation



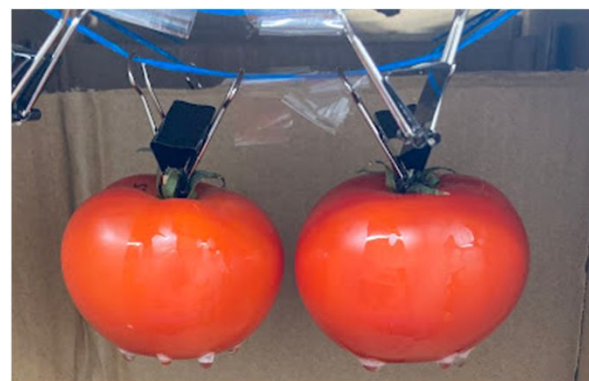
Conditionnement : 23°C - 50% RH

Vérification du dépôt

Application du revêtement par imprégnation



Application du revêtement par pulvérisation



Matériels & Méthodes

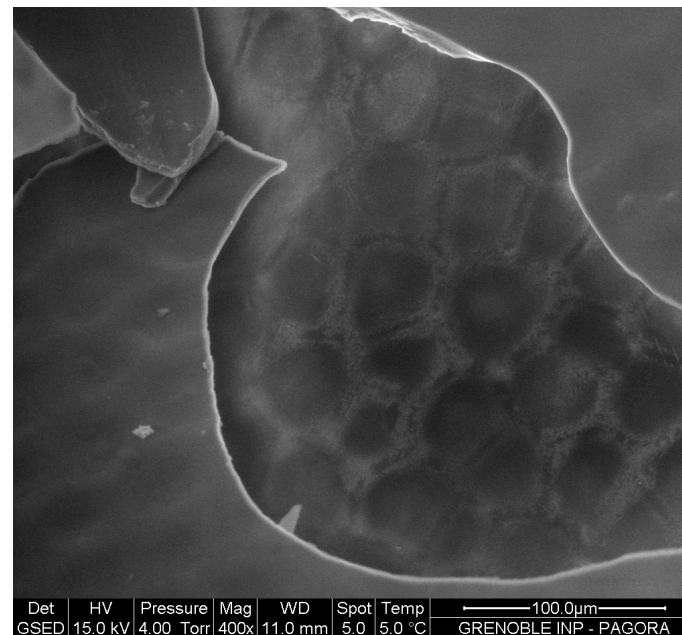
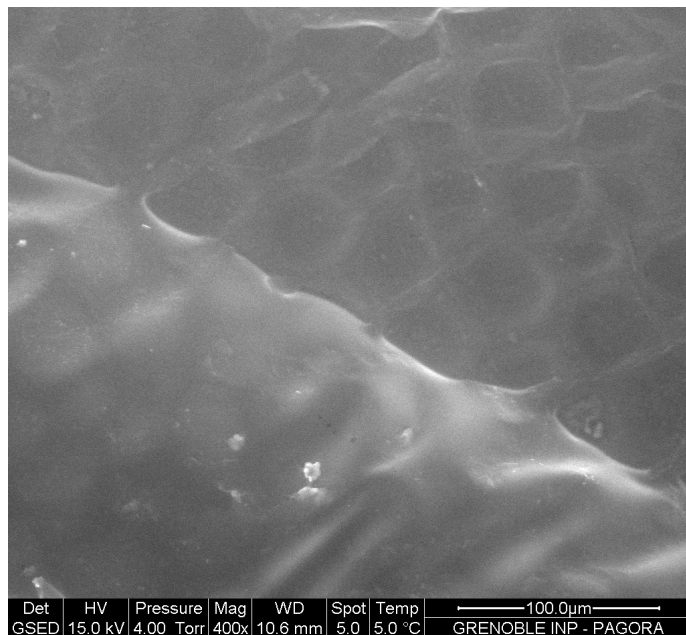
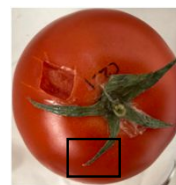
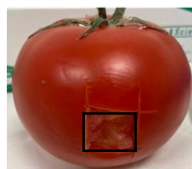
- Fruits non rincés à l'eau distillée avant observation, pour ne pas retirer le revêtement appliqué, qui est hydrosoluble.
- Observation au MEB environnemental (FEI – QUANTA 200)
 - Haute tension - 15 kV
 - Purges : 4 entre 667 et 800 Pa
 - Taille du spot : 5
 - Distance de travail : 9-11mm
 - Température : 5°C
 - 533 Pa (61.3% RH)
 - 30 min de stabilisation



Vérification du dépôt

Application du revêtement par imprégnation (2min)

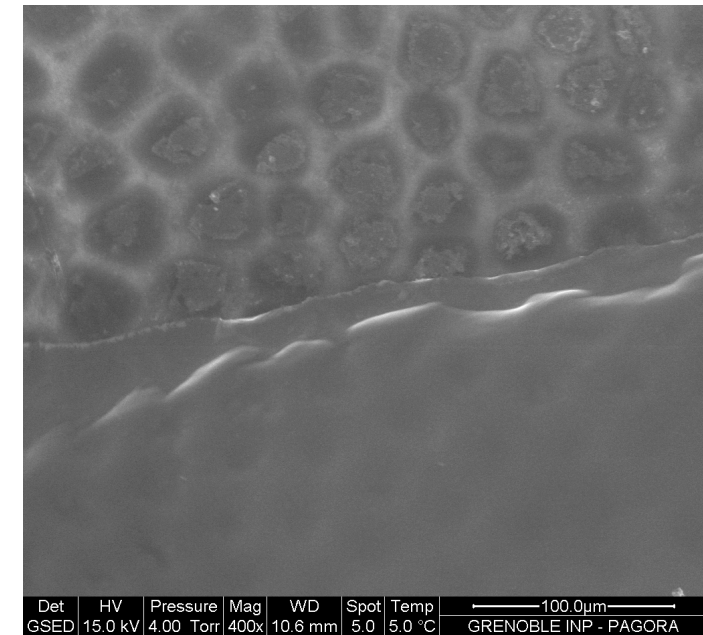
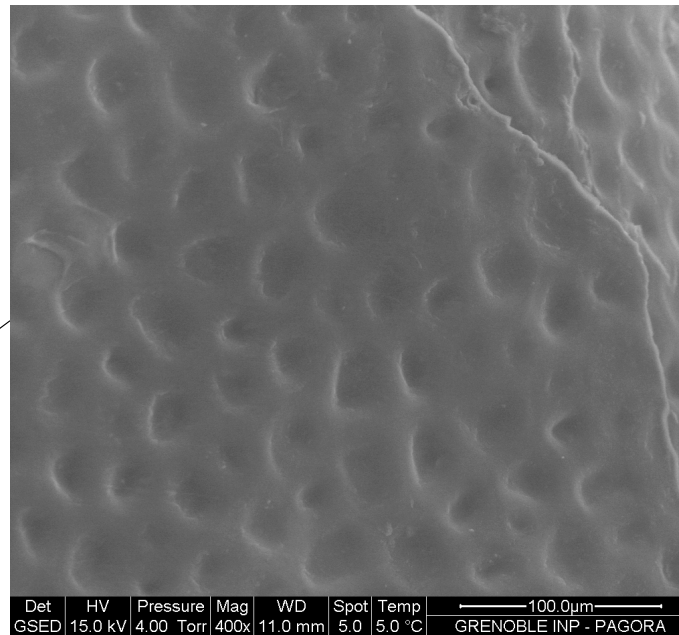
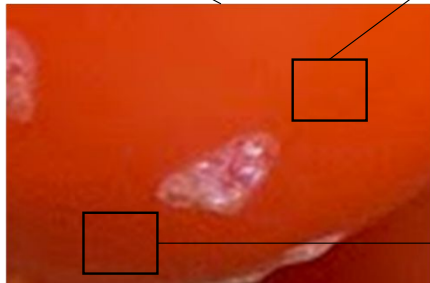
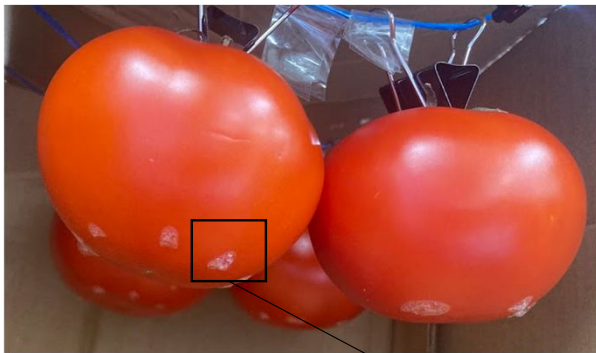
5°C – 61.3 % RH



Vérification du dépôt

Application du revêtement par pulvérisation

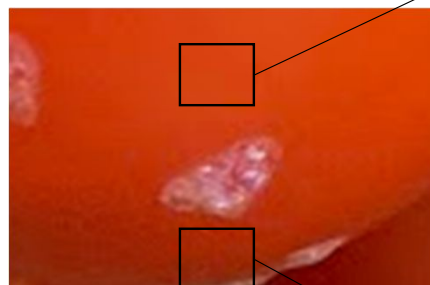
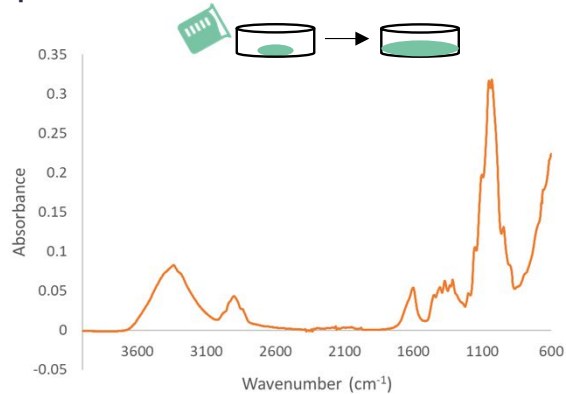
5°C – 61.3 % RH



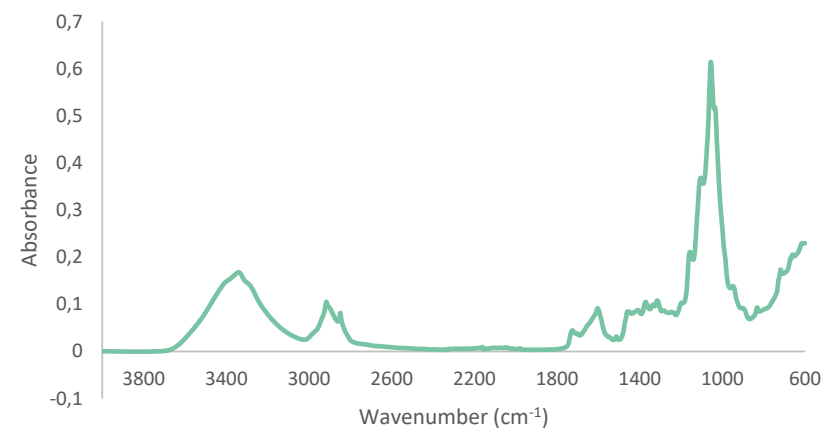
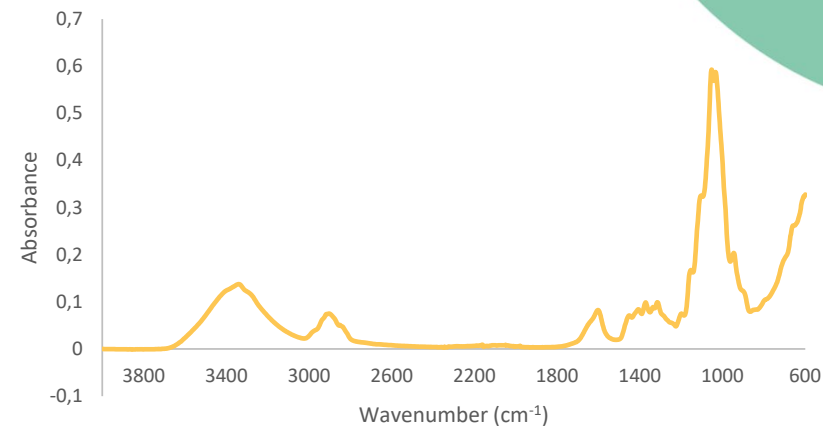
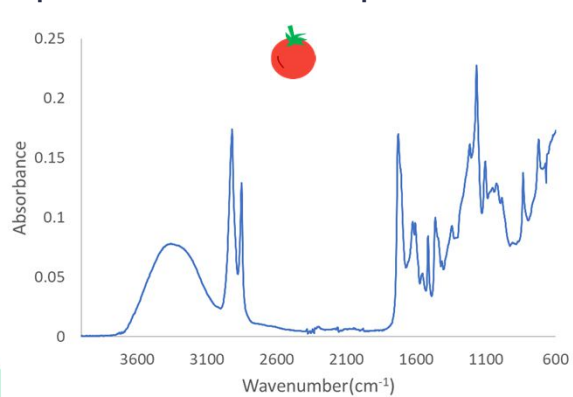
- Revêtement non homogène
- Revêtement présent !

Vérification du dépôt

Spectre d'absorbance d'un film de HPMC/TOCNF



Spectre d'absorbance de la peau de tomate



Les observations au FTIR semblent confirmer la présence d'un film

lgo²

Conclusions & Perspectives



UGA
Université
Grenoble Alpes

GRENOBLE
INP
UGA

agefpi

UMR 5518 CNRS



tec21
the engineering
of complexity

25/04/2026

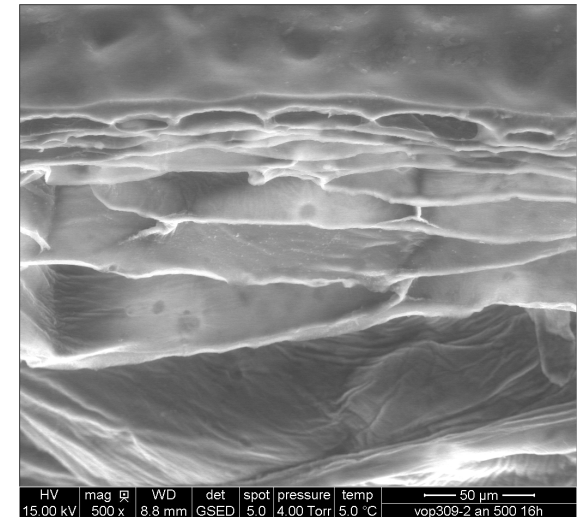
Conclusions & perspectives

Conclusions

- Le MEB environnemental est un bon outil pour évaluer qualitativement le recouvrement du fruit sans détériorer la structure du fruit
- Possibilité d'évaluer l'impact des changements d'humidité sur la structure de fruit

Perspectives

- Possibilité d'évaluer l'impact de l'humidité relative sur l'adhésion du revêtement
- Observations de la tranche pour connaître l'épaisseur du film

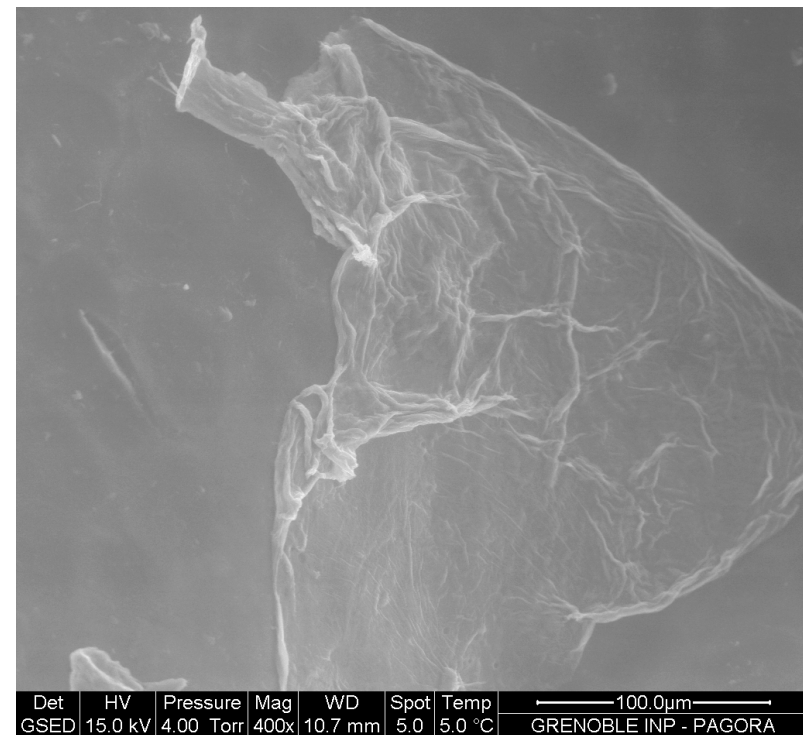
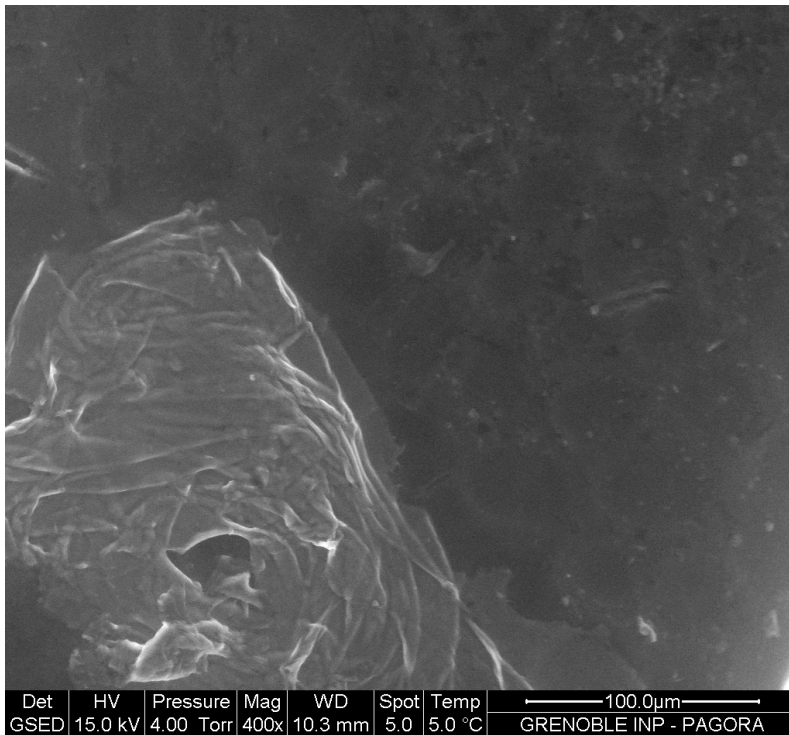


Tranche de tomate (observée au FEG)

Perspectives



Un avis ?



25/04/2026

25

Merci pour votre attention

Des questions ?



Emma Pignères - LGP2, Grenoble INP UGA - emma.pignerres@grenoble-inp.fr

This research was carried out within the framework of the DurlnnPack project. DurlnnPack is part of the PRIMA program supported by the European Union.

lgo²

Back up slides



UGA
Université
Grenoble Alpes

GRENOBLE
INP
UGA

agefpi

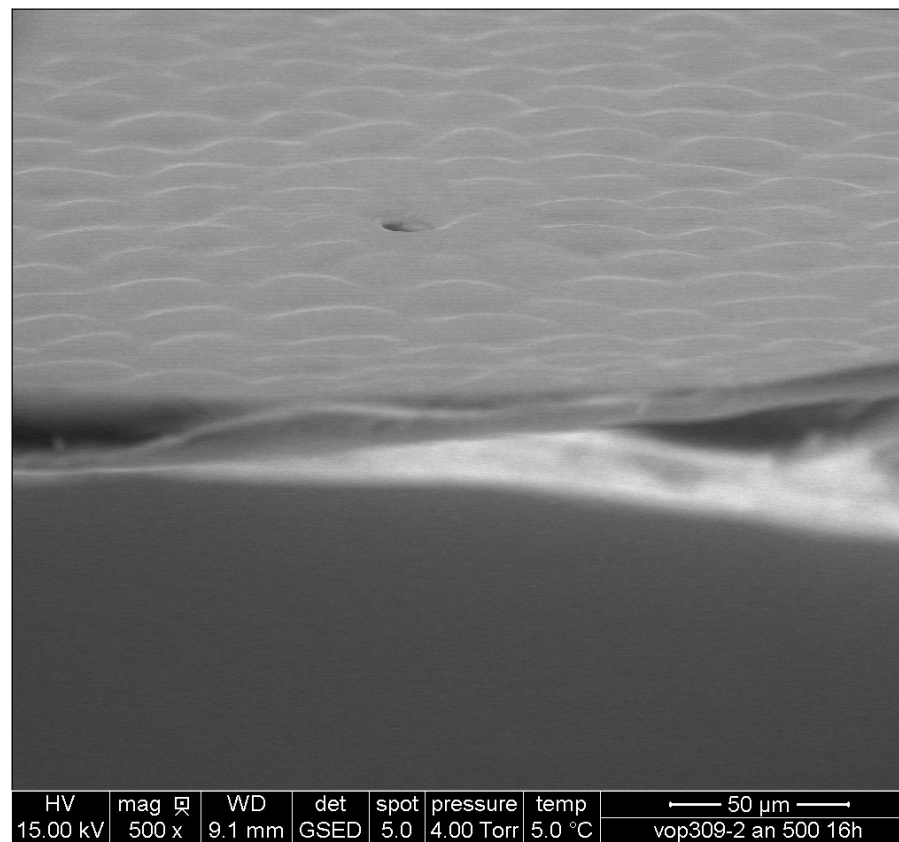
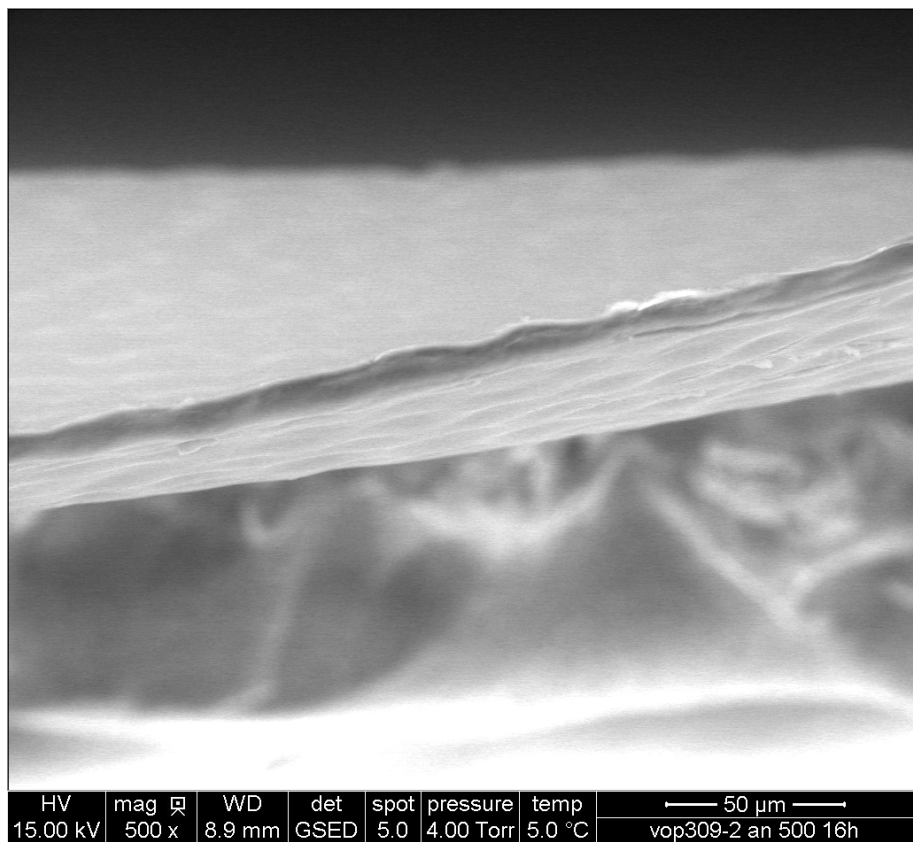
UMR 5518 CNRS



tec21
the engineering
of complexity

25/04/2026

Back-up slides



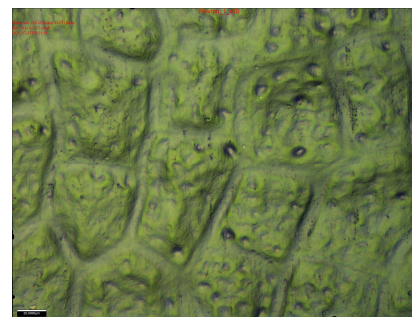
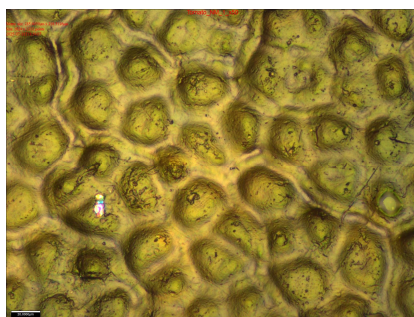
Film retiré de la tomate

Morphologie de surface des fruits

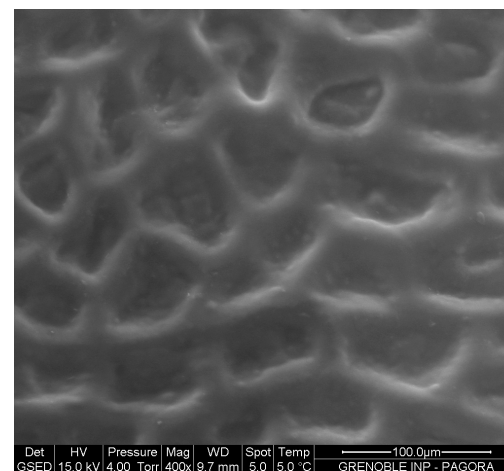
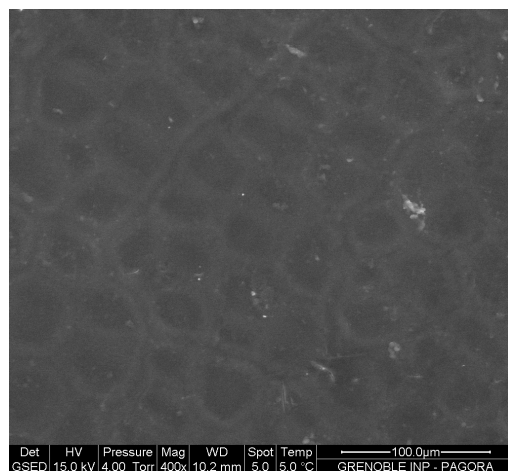


100μm

Profilomètre
optique

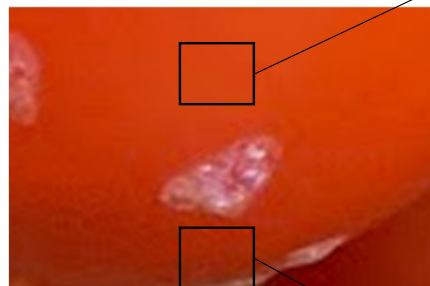
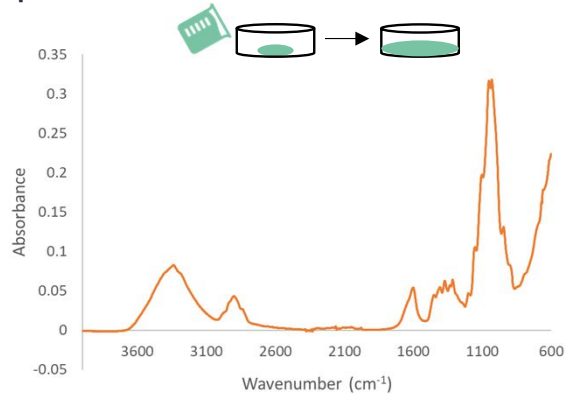


MEB env.

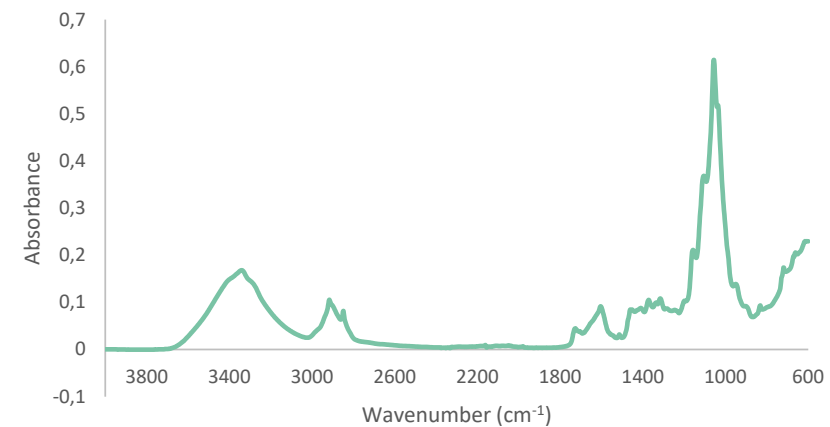
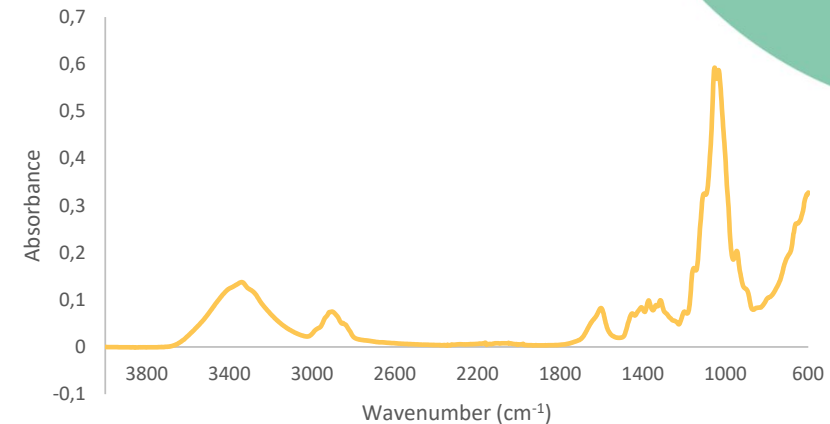
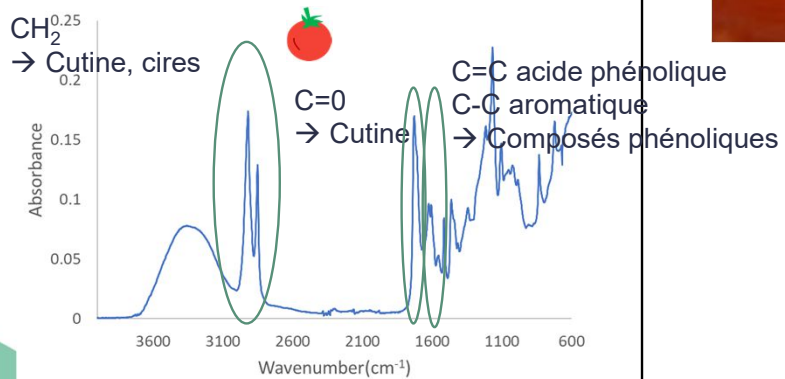


Vérification du dépôt

Spectre d'absorbance d'un film de HPMC/TOCNF



Spectre d'absorbance de la peau de tomate



Les observations au FTIR semblent confirmer la présence d'un film