

TIPE 2020-2021

Thème: **Enjeux sociétaux**

Sujet : Fabrication et analyse
d'un matériau plastique
bio-sourcé et écologique

bio-sourcé et écologique
d'un matériau plastique

Est-il possible de fabriquer un plastique à base d'amidon de maïs aussi résistant mécaniquement que le plastique commercial et possédant des propriétés physico-chimiques similaires?

Démarche scientifique

1-Synthèse d'un polymère à base d'amidon de maïs

- a)Présentation des principaux réactifs
- b)Protocole expérimental
- c)Résultat de la synthèse

2- Caractérisation du plastique synthétisé (Analyse thermogravimétrique)

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

- a)Allongement des plastiques
- b)Module d'Young
- c)Incertitudes sur la courbe contrainte-déformation

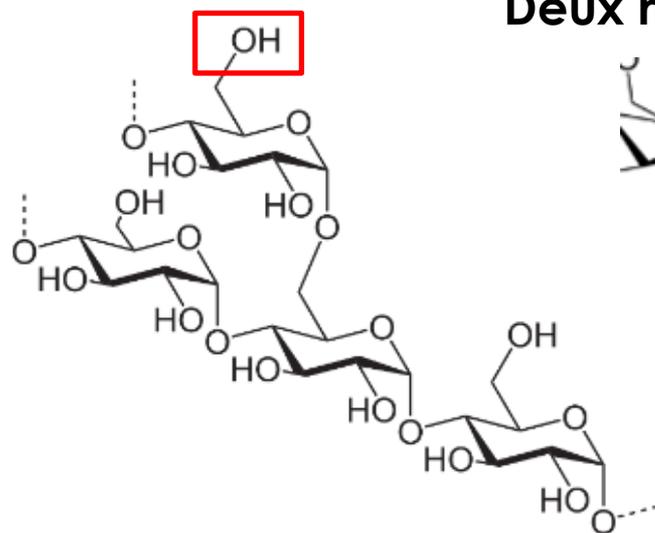
4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

- a)Augmentation de la concentration de glycérol : protocole expérimental, étude des propriétés mécaniques
- b)Oxydation de l'amidon : protocole expérimental, étude des propriétés physico-chimiques

Réactifs

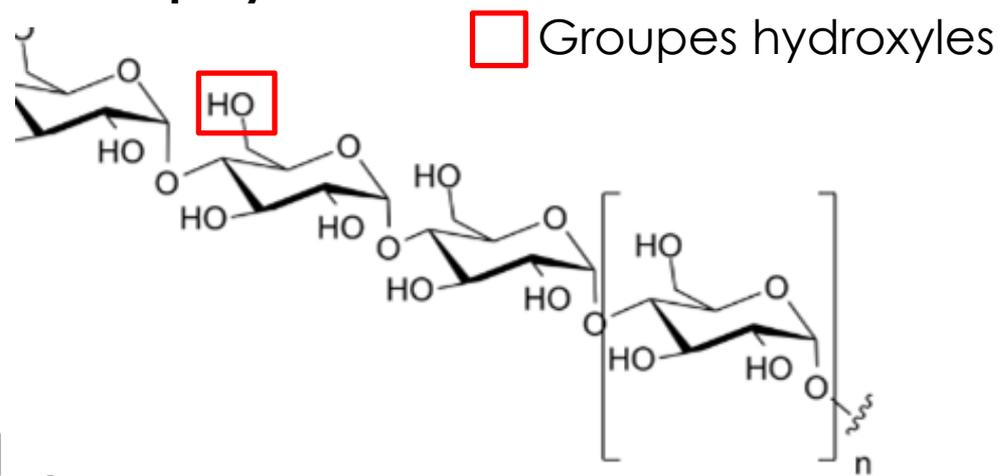
1-Synthèse d'un polymère à base d'amidon de maïs (casting)

▪ Amidon de maïs



Formule semi-développée
d'une chaîne d'**amylopectine**
(thèse d'Adéline DAVID [2])

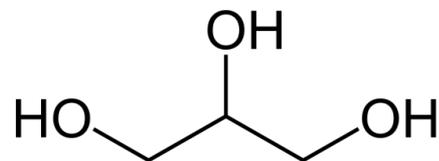
Deux homopolymères



Formule semi-développée
d'une chaîne d'**amylose**
(thèse d'Adéline DAVID [2])

▪ Glycérol

(propane-1,2,3-triol)



Protocole de l'expérience

1-Synthèse d'un polymère à base d'amidon de maïs (casting)

Réactifs utilisés pour la synthèse

- 2,5 g d'**amidon de maïs**
-2,0 mL de **glycérol** (aq) à 10,0 mol/L
-3,0 mL d'**acide chlorhydrique** (aq) à 0,1 mol/L
-20 mL d'**eau distillée**
- 3,0 mL de **soude** (aq) à 0,1 mol/L

$$\text{Pourcentage massique}_{\text{glycérol}} = \frac{m_{\text{glycérol}}}{m_{\text{totale}}}$$

$$m_{\text{amidon}} = 2,5\text{g}$$

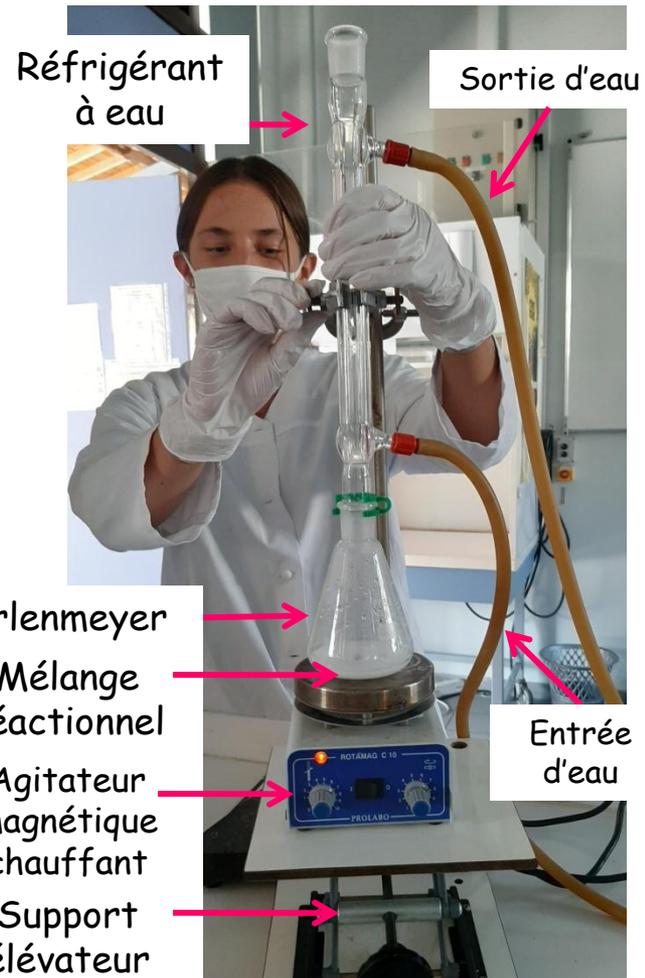
$$m_{\text{glycérol}} = CMV = 10 \times 92,09 \times 2,0 \cdot 10^{-3} = 1,8\text{g}$$

$$m_{\text{acide chlorhydrique}} = CMV = 0,1 \times 36,45 \times 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,011\text{g}$$

$$m_{\text{eau distillée}} = 20\text{g}$$

$$m_{\text{soude}} = CMV = 0,1 \times 39,99 \times 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,012\text{g}$$

$$m_{\text{totale}} = 24\text{g}$$



Montage expérimental

$$\text{Pourcentage massique}_{\text{glycérol}} = 7,5\%$$

Résultat de la synthèse

1- Synthèse d'un polymère à base d'amidon de maïs



Plastique réparti sur le dessous des cristallisoirs dans l'étuve à 110°C

Amidon plastifié obtenu après la synthèse



Analyse Thermogravimétrique

2- Caractérisation du plastique synthétisé

Paramètres:

- De 20°C à 850°C
- Rampe de 10°C/min
- Gaz Réactif: Diazote débit 50mL/min
- Creusets en alumine

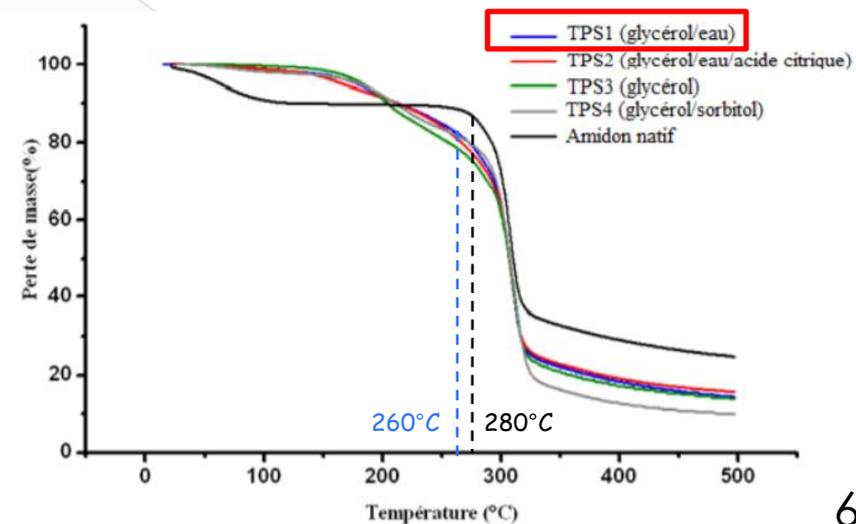
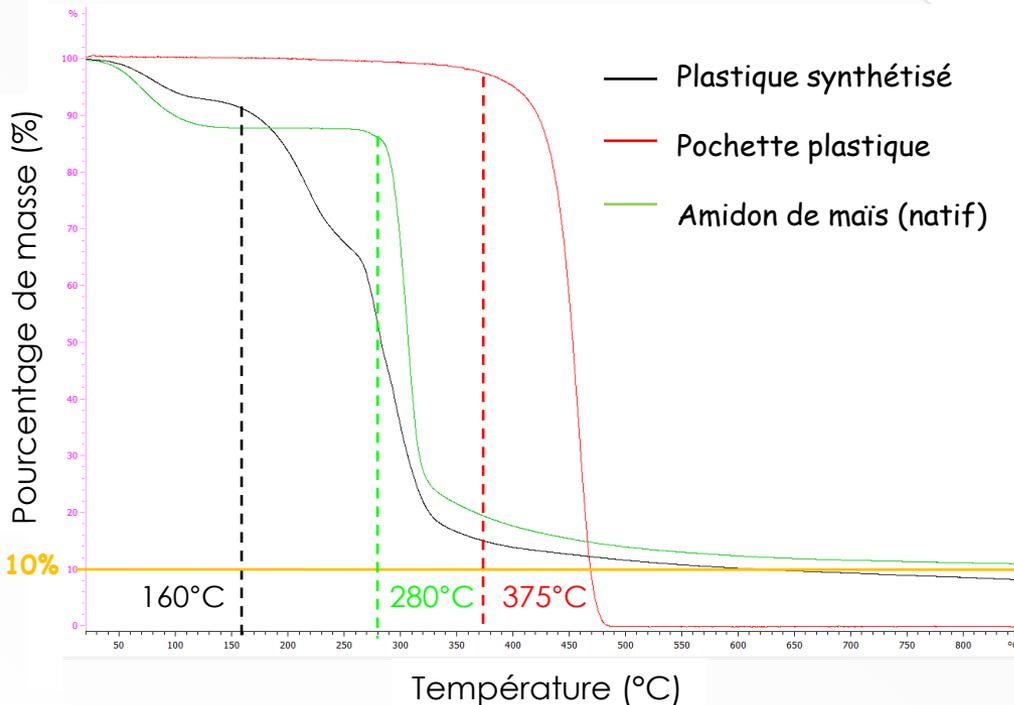


ATG du fabricant Mettler Toledo

Courbes de la masse pondérée pour trois échantillons en fonction de la température (expérimentales)

- 15,61 mg d'amidon plastifié synthétisé
- 2,596 mg de pochette plastique
- 13,13 mg d'amidon de maïs natif

Courbes de la masse pondérée pour divers échantillons en fonction de la température (littérature, thèse de Sarah RONASI [3])

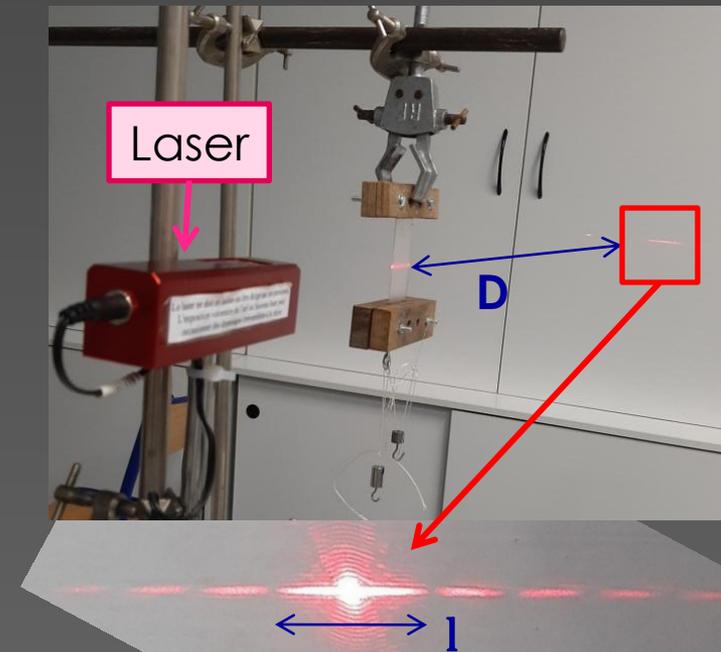
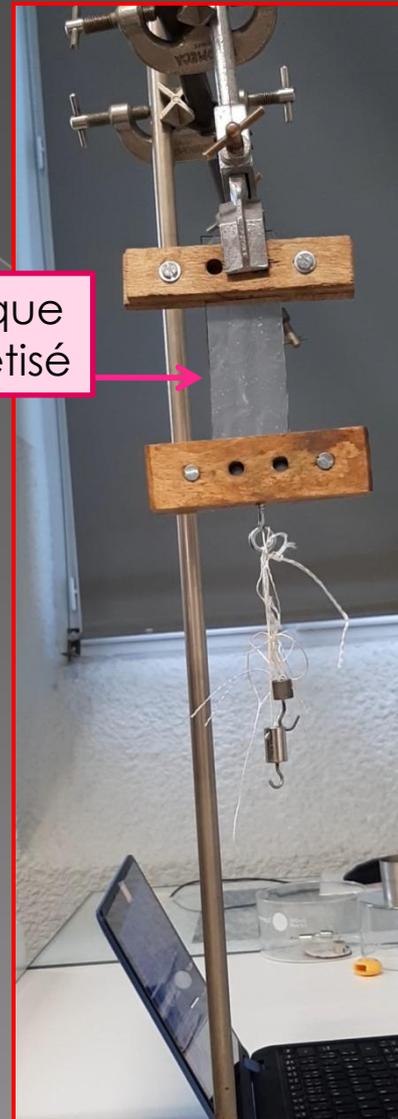
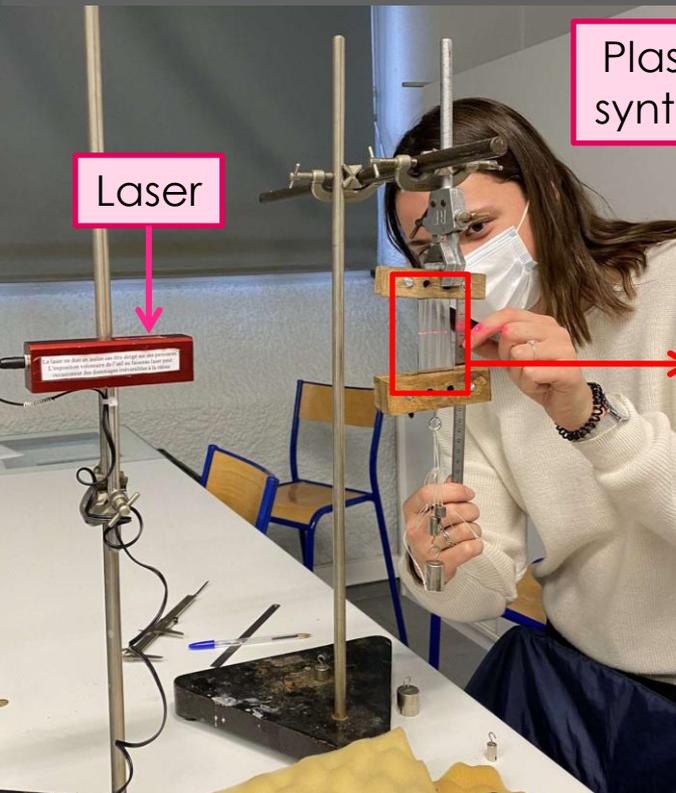


Allongement des plastiques

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

Montage expérimental

- Système {film plastique et les deux fixations en bois }



$$\sin \theta = \frac{\lambda}{e_0} \text{ et } \sin \theta = \frac{l}{2D}$$

- Film synthétisé :

$$\lambda = 546\text{nm}, D = 152\text{cm}, l = 1,1\text{cm}$$

$$e_0 = \frac{2\lambda D}{l} = \frac{2 \times 546 \cdot 10^{-9} \times 152 \cdot 10^{-2}}{1,1 \cdot 10^{-2}}$$

$$e_0 (\text{film synthétisé}) = 0,15\text{mm}$$

- Pochette plastique :

$$e_0 (\text{pochette plastique}) = 0,038\text{mm}$$

Allongement des plastiques

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

Plastique synthétisé



Largeur 3,5 cm

Longueur au repos 6,8 cm

Suspension de différentes masses

Plastique commercial



Tableau de mesures des propriétés mécaniques de notre plastique synthétisé

Masse (kg)	Poids (N)	Longueur totale (cm)	Allongement (cm)	Surface d'allongement (cm ²)
0	0	6,8	0	0
0,05	0,49	6,8	0	0
0,1	0,81	6,9	0,1	0,35
0,15	1,5	7	0,2	0,70
0,2	2,0	7,1	0,3	1,1
0,25	2,5	7,25	0,45	1,6
0,3	2,9	7,3	0,5	1,8
0,35	3,4	7,4	0,6	2,1
0,4	3,9	7,55	0,75	2,6
0,45	4,4	7,7	0,9	3,2
0,5	4,9	7,8	1	3,5
0,55	5,4	7,9	1,1	3,9

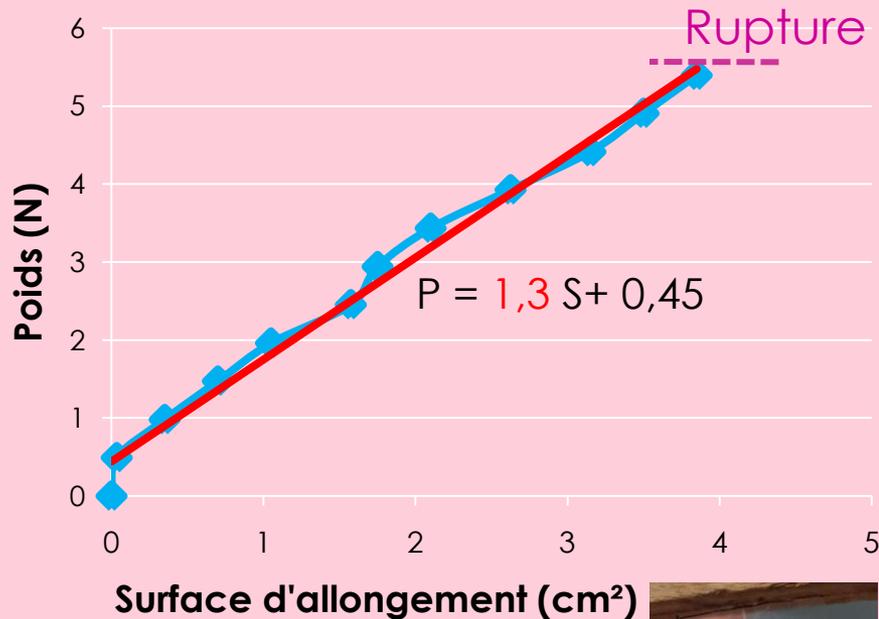
Tableau de mesures des propriétés mécaniques du plastique commercial (polyéthylène)

Masse (kg)	Poids (N)	Longueur totale (cm)	Allongement (cm)	Surface d'allongement (cm ²)
0,0	0,0	6,5	0	0
0,5	4,9	6,7	0,2	0,7
1,0	9,8	7,1	0,6	2,1
1,4	14	7,7	1,2	4,2
1,6	16	7,8	1,3	4,6
1,8	18	8,2	1,7	6,0
2,0	20	8,5	2	7,0
2,2	22	8,9	2,4	8,4
2,4	24	9,3	2,8	9,8
2,6	26	9,5	3	11
2,8	28	9,9	3,4	12

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

Amidon plastifié

Poids en fonction de l'allongement du
film plastique fabriqué (expérimental)



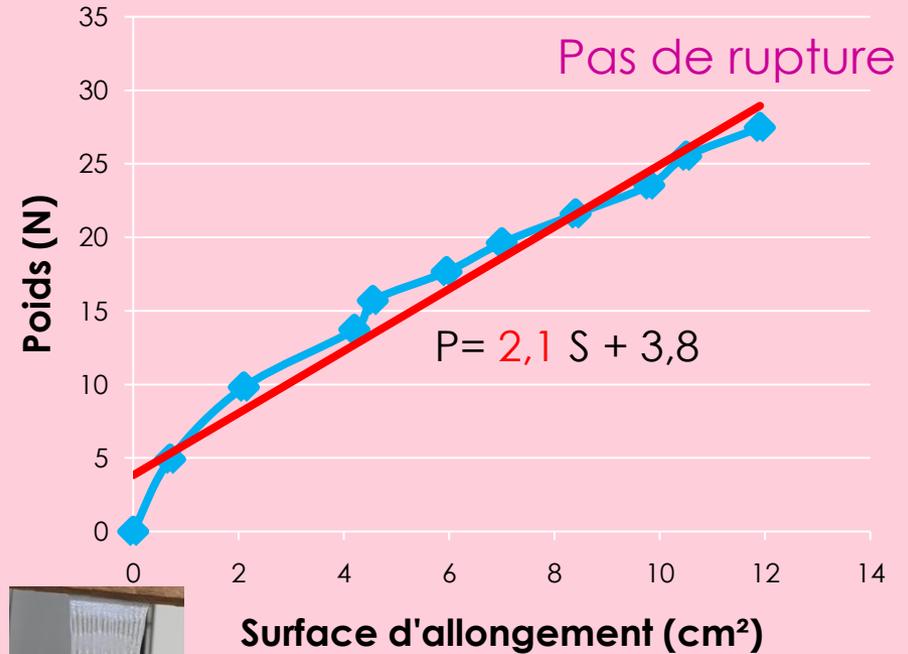
Coefficient directeur
de la droite : $1,3 \times 10^{-2} \text{ MPa}$

Rupture de
l'amidon plastifié



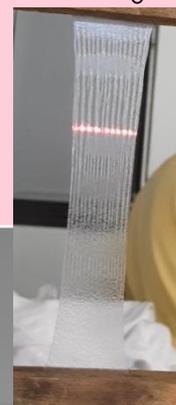
Pochette plastique (polyéthylène)

Poids en fonction de l'allongement du film
plastique commercial (expérimental)



Coefficient directeur
de la droite : $2,1 \times 10^{-2} \text{ MPa}$

Pas de rupture de la
pochette plastique



3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

Module d'Young

Allongement relatif (%):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Longueur au repos du film $L_0 = 6,8\text{cm}$
Longueur du film à l'instant t (L)

Contrainte normale macroscopique (MPa):

$$\sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{F}{l_0 \times e_0}$$

$$F = P = m \times g$$

Largeur au repos du film $l_0 = 3,5\text{cm}$
Epaisseur initiale du film

$e_0 = 0,15\text{mm}$ (plastique synthétisé)
 $e_0 = 0,038\text{mm}$ (pochette plastique)

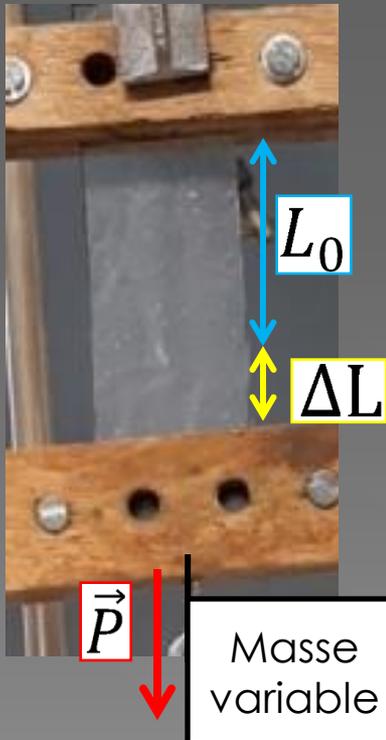


Tableau de mesures de la contrainte maximale et de l'allongement à la rupture de l'amidon plastifié

Poids (N)	Longueur totale (cm)	Allongement (cm)	Sigma (Mpa)	Epsilon (%)
0,00	6,8	0,0	0,000	0,000
0,49	6,8	0,0	0,093	0,001
0,98	6,9	0,1	0,19	0,015
1,5	7	0,2	0,28	0,029
2,0	7,1	0,3	0,37	0,044
2,5	7,25	0,45	0,47	0,066
2,9	7,3	0,5	0,56	0,074
3,4	7,4	0,6	0,65	0,088
3,9	7,55	0,75	0,75	0,11
4,4	7,7	0,9	0,84	0,13
4,9	7,8	1,0	0,93	0,15
5,4	7,9	1,1	1,0	0,16

Tableau de mesures de la contrainte maximale et de l'allongement à la rupture de la pochette plastique

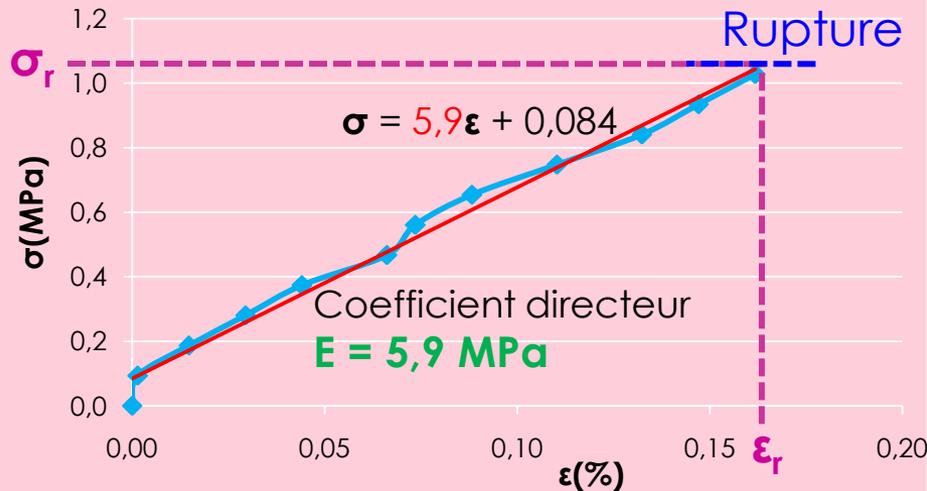
Poids (N)	Longueur totale (cm)	Allongement (cm)	Sigma (MPa)	Epsilon (%)
0,0	6,5	0	0,0	0
4,9	6,7	0,2	3,7	0,03
9,8	7,1	0,6	7,4	0,09
13,7	7,7	1,2	10	0,18
15,7	7,8	1,3	12	0,20
17,7	8,2	1,7	13	0,26
19,6	8,5	2	15	0,31
21,6	8,9	2,4	16	0,37
23,5	9,3	2,8	18	0,43
25,5	9,5	3	19	0,46
27,5	9,9	3,4	21	0,52
31,4	12,7	6,2	24	1,0
35,3	22	15,5	27	2,4
37,3	26,5	20	28	3,1
39,2	29,3	22,8	30	3,5
43,2	32,7	26,2	32	4,0
47,1	35,5	29	35	4,5

Module d'Young

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

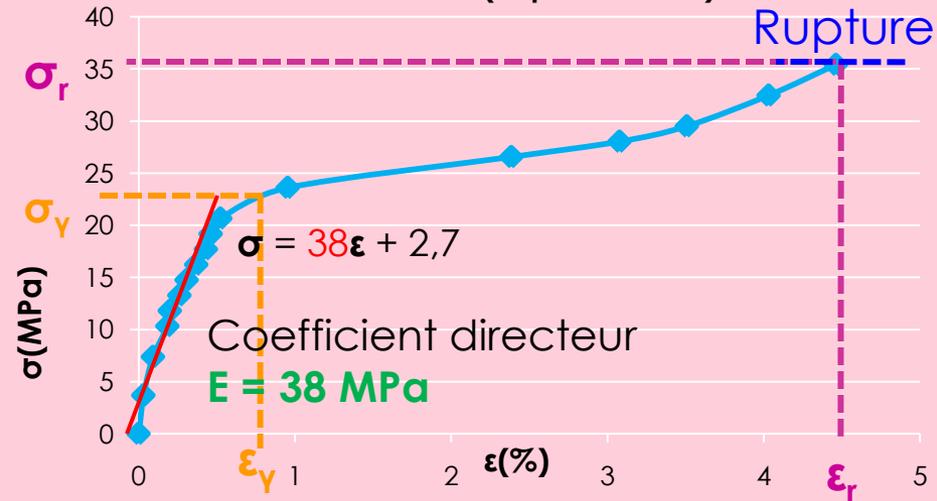
Amidon plastifié

Contrainte-déformation du plastique synthétisé étiré uniaxialement (expérimentale)



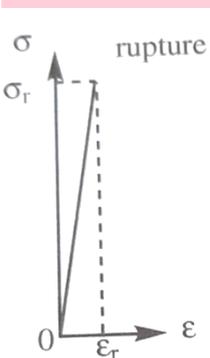
Pochette plastique

Contrainte-déformation de la pochette plastique étiré uniaxialement (expérimentale)



Polymère dur et fragile

Courbe de traction d'un polymère dur et fragile (référence littérature [7])



$$\sigma = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}$$

E: Module d'Young (Mpa) ou Module d'élasticité

Ordres de grandeur :

Module d'Young: $E = 2-4 \text{ GPa}$

Allongement à la rupture : $\epsilon_r < 0,1\%$

Contrainte à la rupture : $\sigma_r = 6-7 \text{ MPa}$

Polymère mou et résistant

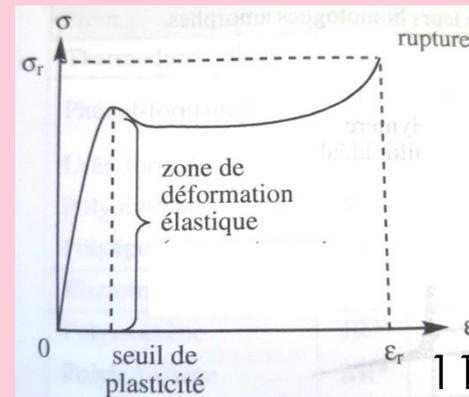
Courbe de traction d'un polymère mou et résistant (référence littérature [7])

Ordres de grandeur :

Module d'Young: $E = 30-40 \text{ MPa}$

Allongement à la rupture : $\epsilon_r < 7-8\%$

Contrainte à la rupture : $\sigma_r = 30-40 \text{ MPa}$



Incertitudes

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

■ Incertitude double lecture sur la longueur, largeur

$$u(L_0) = u(l_0) = u(L) = u(l) = \frac{\frac{1}{2} \text{ graduation} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ m}$$

$$u(D) = \frac{\frac{1}{2} \times 1 \cdot 10^{-3} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \text{ m}$$

■ Incertitude de précision sur la valeur de la masse:

$$u(m) = \frac{\text{précision}}{\sqrt{3}} = \frac{0,000001}{\sqrt{3}} \text{ kg}$$

■ Incertitude de précision sur la valeur de la longueur d'onde du laser:

$$u(\lambda) = \frac{\text{précision}}{\sqrt{3}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{3}} \text{ m}$$

■ Incertitude de e_0 déterminée avec le logiciel GUM

Taux de confiance	Facteur d'élargissement k	Ecriture finale (2 chiffres sur incertitude)
75%	1.15	(1509±38)E-7unité
95%	1.96	(1509±64)E-7unité
99%	2.58	(1509±84)E-7unité

$$u(e_0) = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

■ Incertitude-type de Epsilon et Sigma:

$$u(\varepsilon) = \varepsilon \sqrt{\left(\frac{u(L_0)}{L_0}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

$$u(\sigma) = \sigma \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(l_0)}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{u(e_0)}{e_0}\right)^2}$$

■ Incertitude élargie:

$$U(\varepsilon) = 2 \times u(\varepsilon)$$

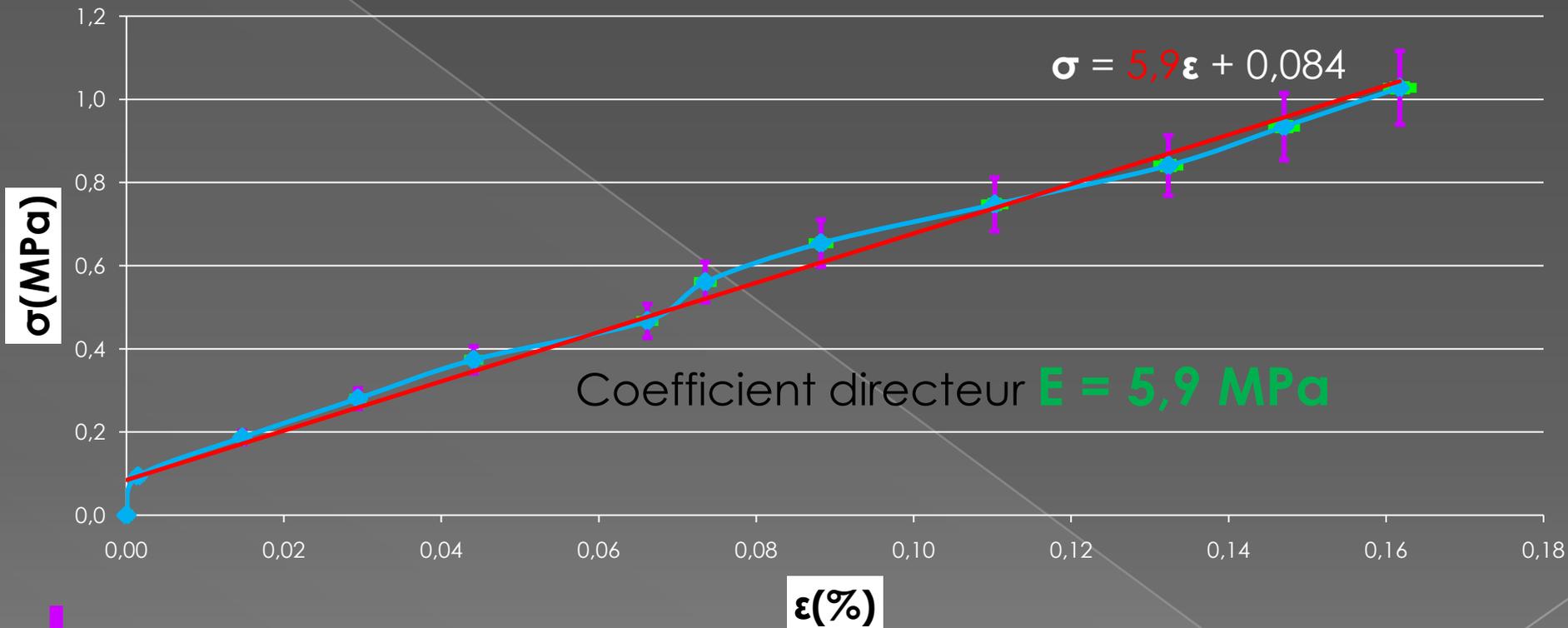
$$U(\sigma) = 2 \times u(\sigma)$$

Tableau de mesures des incertitudes sur Sigma et Epsilon

Sigma (Mpa)	Epsilon (%)	U(sigma)	U(epsilon)
0,000	0,000	0,0E+00	0,0E+00
0,093	0,001	8,0E-03	1,2E-05
0,19	0,015	1,6E-02	1,2E-04
0,28	0,029	2,4E-02	2,5E-04
0,37	0,044	3,2E-02	3,7E-04
0,47	0,066	4,0E-02	5,4E-04
0,56	0,074	4,8E-02	6,0E-04
0,65	0,088	5,6E-02	7,2E-04
0,75	0,11	6,4E-02	8,9E-04
0,84	0,13	7,2E-02	1,1E-03
0,93	0,15	8,0E-02	1,2E-03
1,03	0,16	8,9E-02	1,3E-03

3-Comparaison des propriétés mécaniques du plastique synthétisé et d'un plastique commercial

Contrainte-déformation du plastique synthétisé étiré uniaxialement (expérimentale)



Incertitude de Sigma

Incertitude de Epsilon

Pistes d'amélioration:

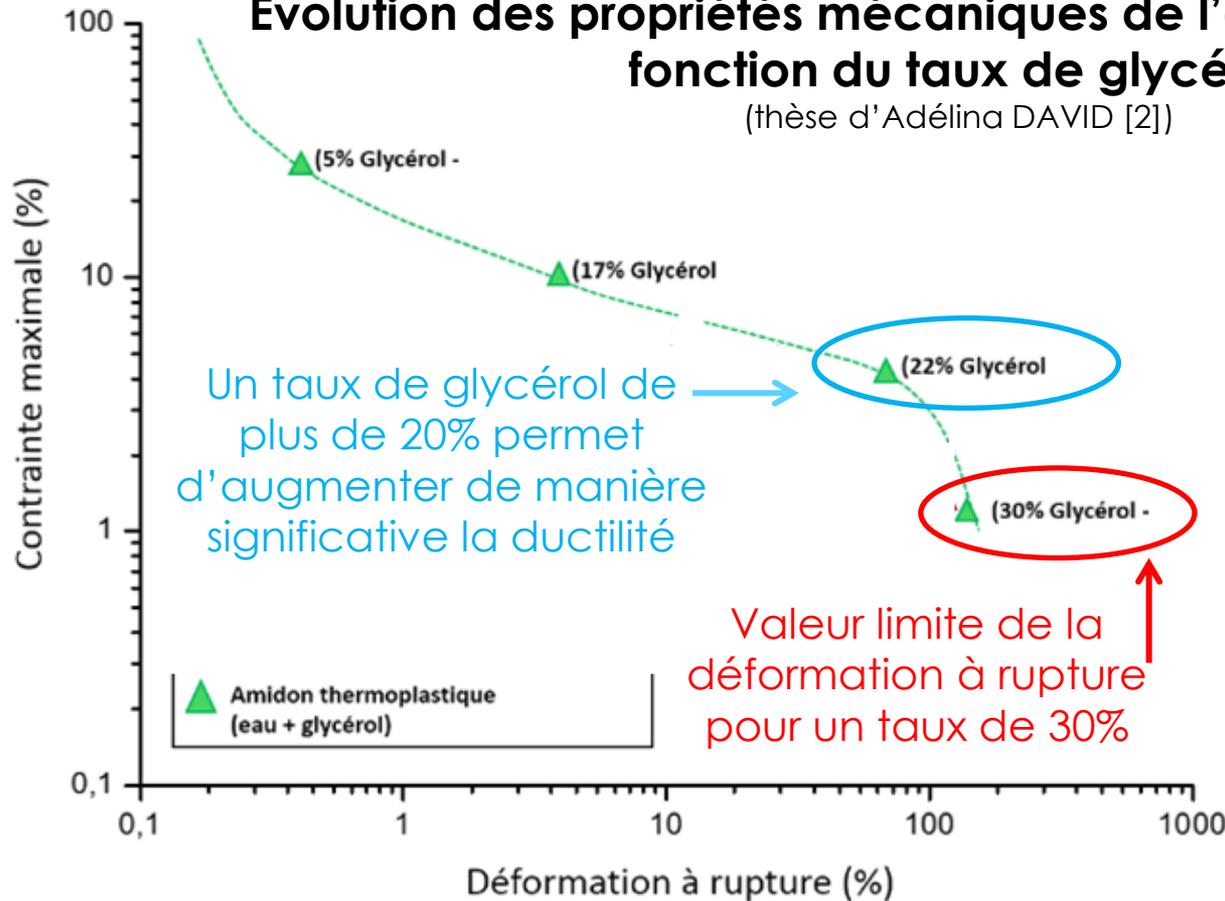
- Augmentation de la concentration de l'agent plastifiant (glycérol)
- Oxydation de l'amidon natif

Augmentation de la concentration en glycérol

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Evolution des propriétés mécaniques de l'amidon plastifié en fonction du taux de glycérol

(thèse d'Adéline DAVID [2])



Testons notre synthèse avec un **pourcentage massique de 30% en glycérol**

$$\text{Pourcentage massique}_{\text{glycérol}}(P) = \frac{m_{\text{glycérol}}}{m_{\text{totale sans gly}}(m) + m_{\text{glycérol}}}$$

$$\text{soit } m_{\text{glycérol}} = \frac{P \times m}{(1 - P)} = \frac{0,30 \times 22,5}{1 - 0,30} = 9,7 \text{ g soit } \mathbf{V_{gly} = 7,7 \text{ mL}} \quad (C_{gly} = 13,6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

Protocole de l'expérience et résultat de la synthèse

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Réactifs utilisés pour la synthèse

-2,5 g d'**amidon de maïs**

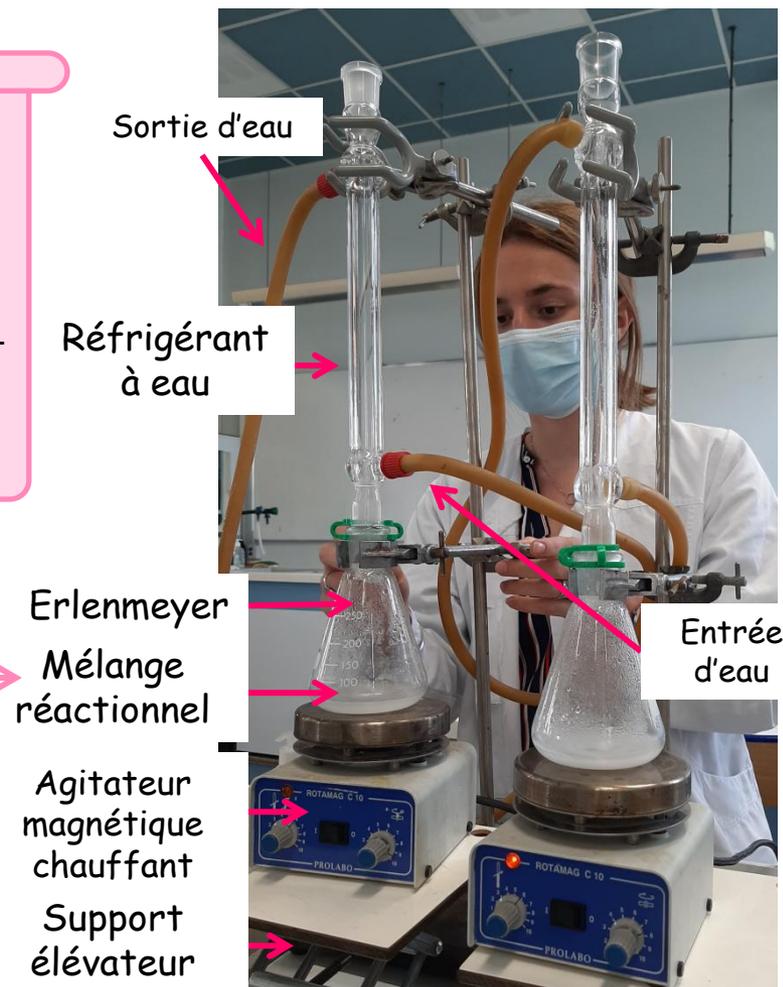
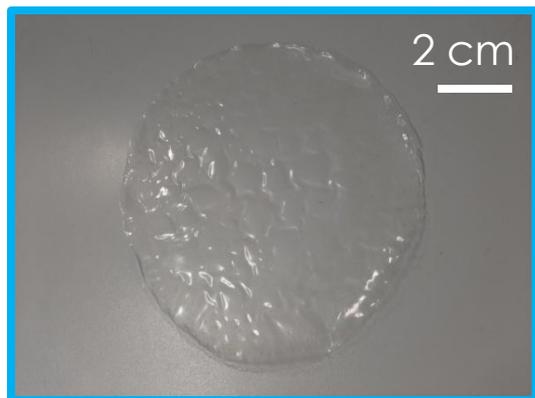
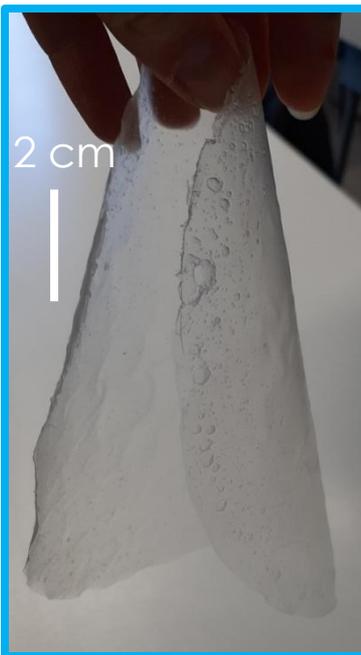
-**7,7mL** de **glycérol** (aq) à **13,6mol/L**

-3,0 mL d'**acide chlorhydrique** (aq) à 0,1mol/L

-20 mL d'**eau distillée**

-3,0 mL de **soude** (aq) à 0,1mol/L

Amidon plastifié
obtenu après la
synthèse



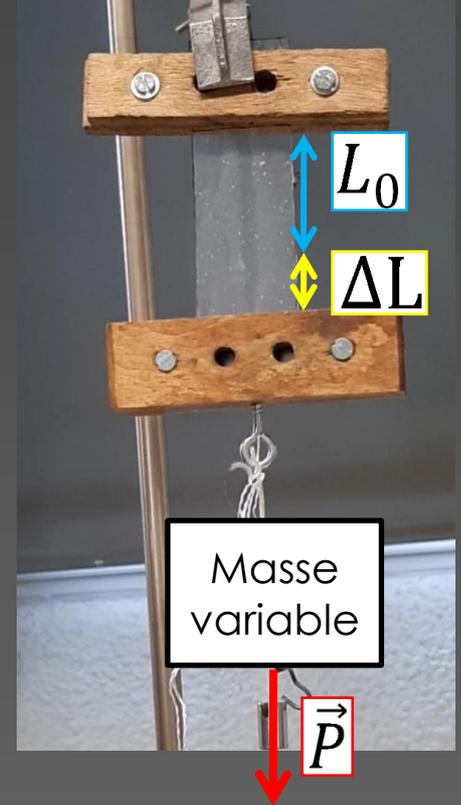
Montage expérimental

Tests mécaniques

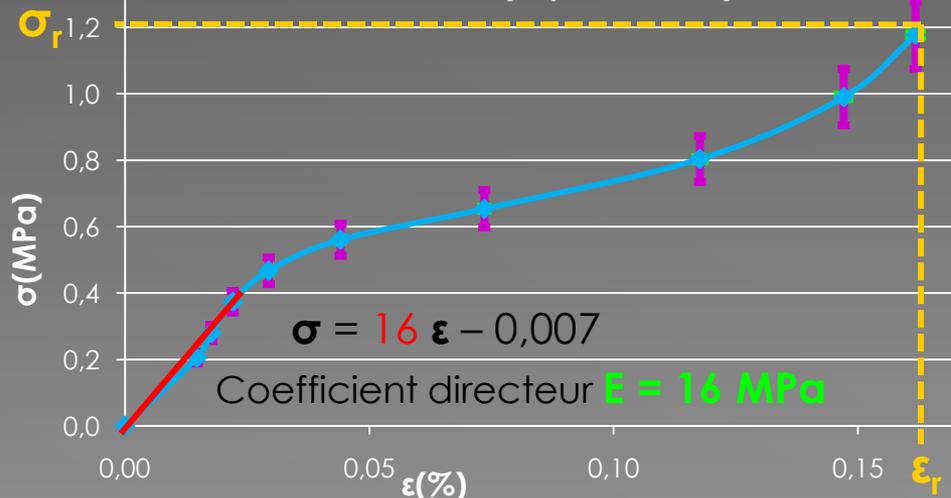
4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Tableau de mesures de la contrainte maximale et de l'allongement à la rupture de l'**amidon plastifié (30%)**

Poids (N)	Longueur totale(cm)	Allongement (cm)	Sigma (Mpa)	Epsilon (%)
0,0	6,8	0	0,00	0,000
1,1	6,9	0,10	0,21	0,015
1,5	6,92	0,12	0,28	0,018
2,0	6,95	0,15	0,37	0,022
2,5	7	0,20	0,47	0,029
2,9	7,1	0,30	0,56	0,044
3,4	7,3	0,50	0,65	0,074
4,2	7,6	0,80	0,80	0,12
5,2	7,8	1,0	0,99	0,15
6,2	7,9	1,1	1,2	0,16



Contrainte-déformation du plastique synthétisé étiré uniaxialement (expérimentale)



Courbe de traction d'un polymère mou et résistant (référence littérature [7])

Ordres de grandeur:

Module d'Young:

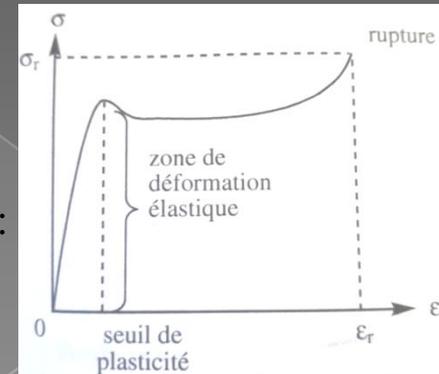
$$E = 30-40 \text{ MPa}$$

Allongement à la rupture :

$$\epsilon_r < 7-8\%$$

Contrainte à la rupture :

$$\sigma_r = 30-40 \text{ MPa}$$



Oxydation de l'amidon natif

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

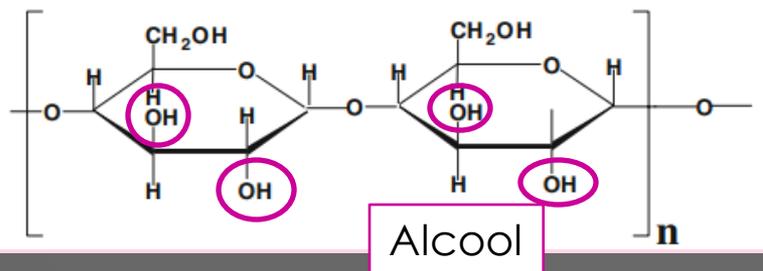
Schéma synthétique de réaction de la plastification interne de l'amidon de maïs



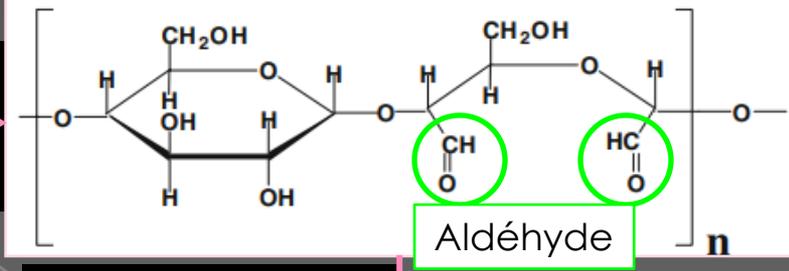
Amidon de maïs natif



Amidon de dialdéhyde (ATDS)

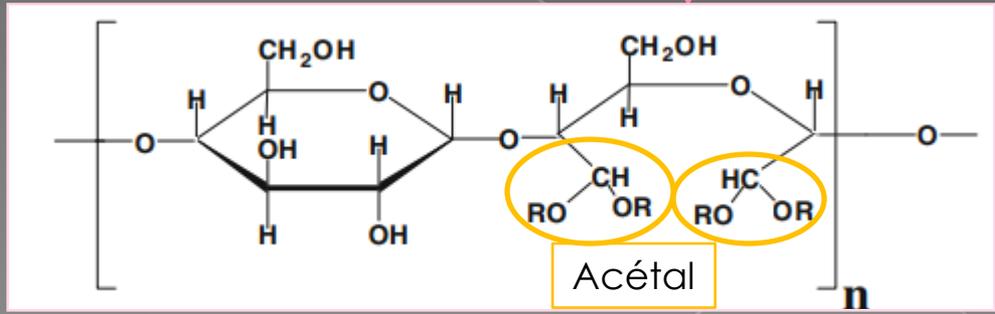


Oxydation
 NaIO_4



Acétalisation
Glycérol / $[\text{H}^+]$

Thermoplastique



Synthèse de l'amidon de dialdéhyde

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Réactifs utilisés pour la synthèse

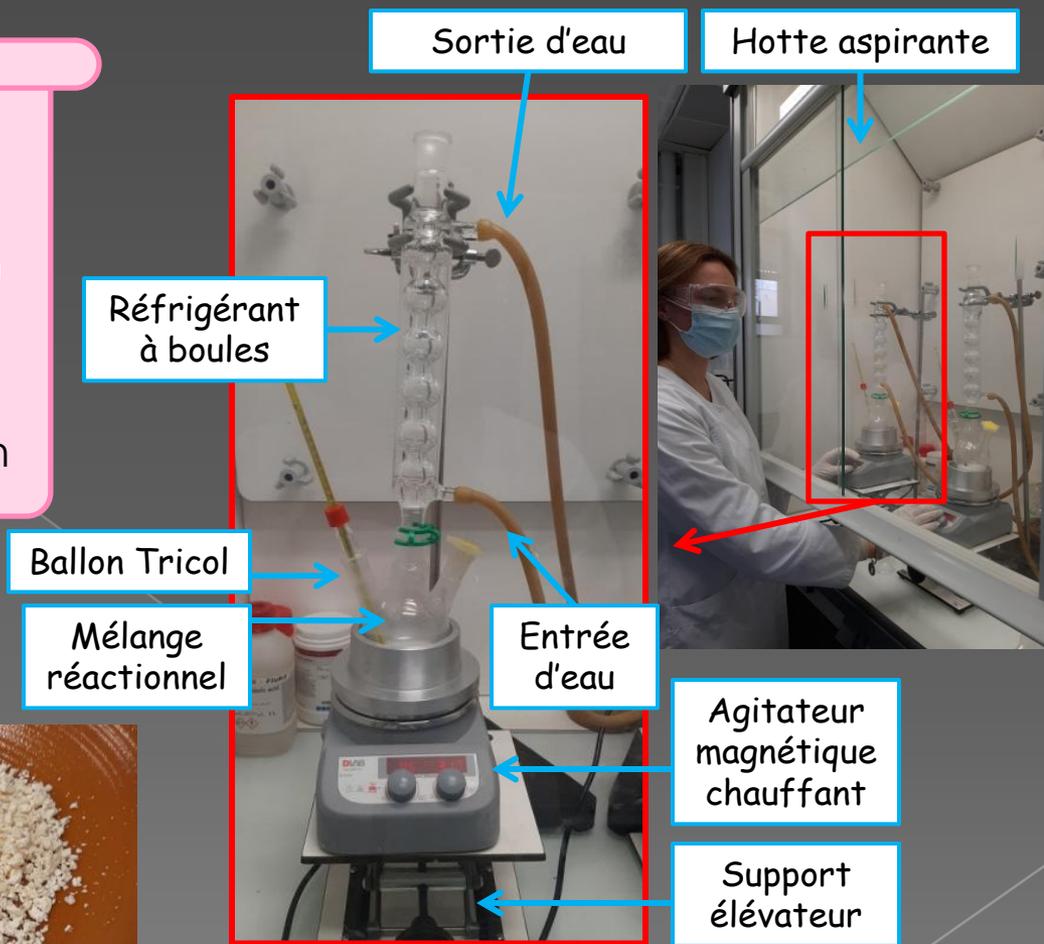
- 2,94 g de **périodate de sodium**
 - 23,15g d'**acide chlorhydrique** (aq)
à 0,6 mol/L
 - 2,01g d'**amidon de maïs**
- mélange régulé à 35°C pendant 2h



Amidon de dialdéhyde après filtration



Amidon de dialdéhyde en fin de synthèse (à la sortie de l'étuve)



Solvants utilisés pour l'extraction (3 fois)
Eau et **Acétone**

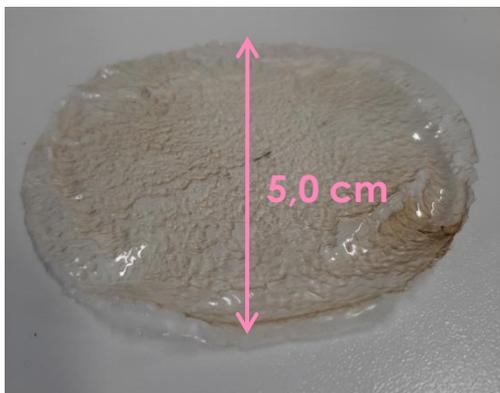
Synthèse de l'amidon plastifié

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Réactifs utilisés pour la synthèse

- 3,0 g d'**amidon de maïs de dialdéhyde**
- 2,4 mL de **glycérol** (aq) à 10,0 mol/L
- 3,6 mL d'**acide chlorhydrique** (aq) à 0,1 mol/L
- 60 mL d'**eau distillée**
- 3,6 mL de **soude** (aq) à 0,1 mol/L

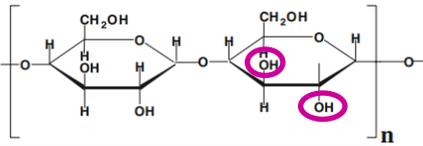
Résultat de la synthèse



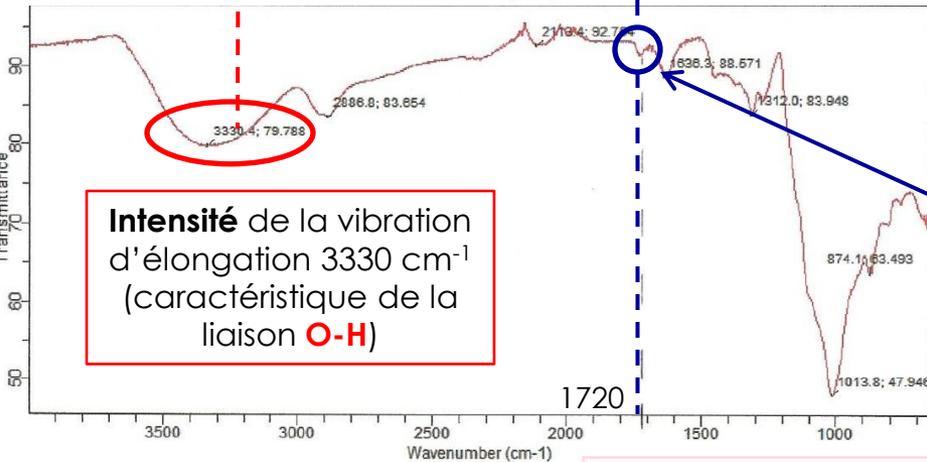
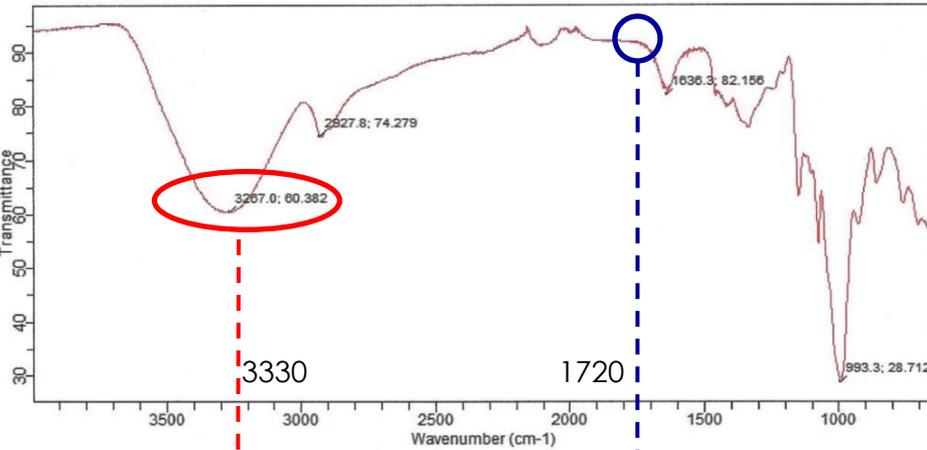
Montage expérimental

Spectroscopie Infra-Rouge

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

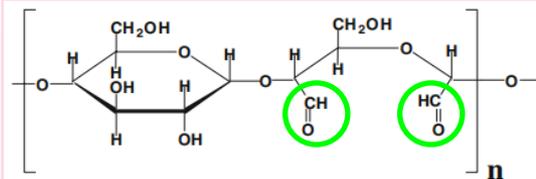


Spectre IR de l'amidon (expérimental)



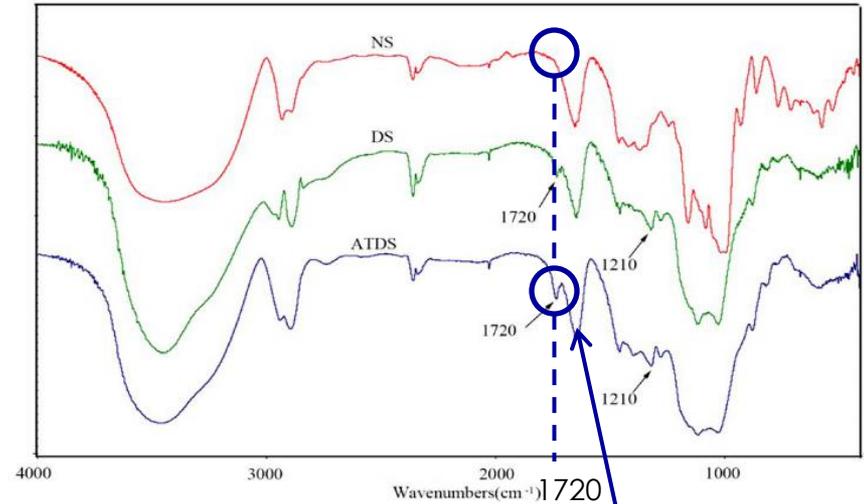
Intensité de la vibration d'élongation 3330 cm⁻¹ (caractéristique de la liaison **O-H**)

Spectre IR de l'amidon de dialdéhyde (ATDS) (expérimental)



Spectres IR de

- l'amidon natif (NS)
- l'amidon oxydé avec de l'eau distillée (DS)
- l'amidon oxydé avec de l'acide chlorhydrique (ATDS) (littérature, Journal international [4])



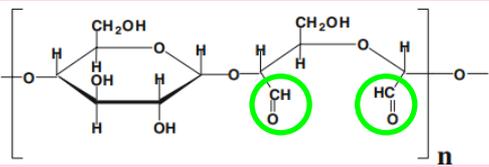
Apparition d'une vibration d'élongation 1720 cm⁻¹ caractéristique de la liaison **C=O** (aldéhyde)

L'amidon de maïs natif a bien été oxydé

Spectroscopie Infra-Rouge

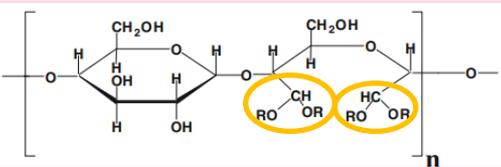
4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Spectre IR de l'amidon de dialdéhyde (ATDS)

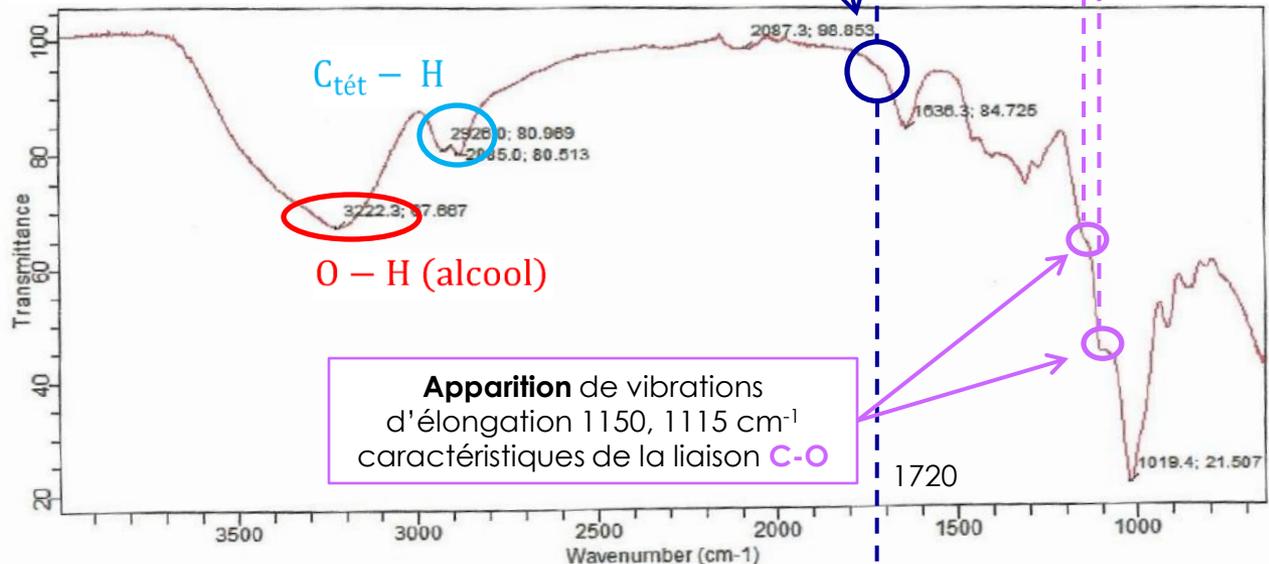
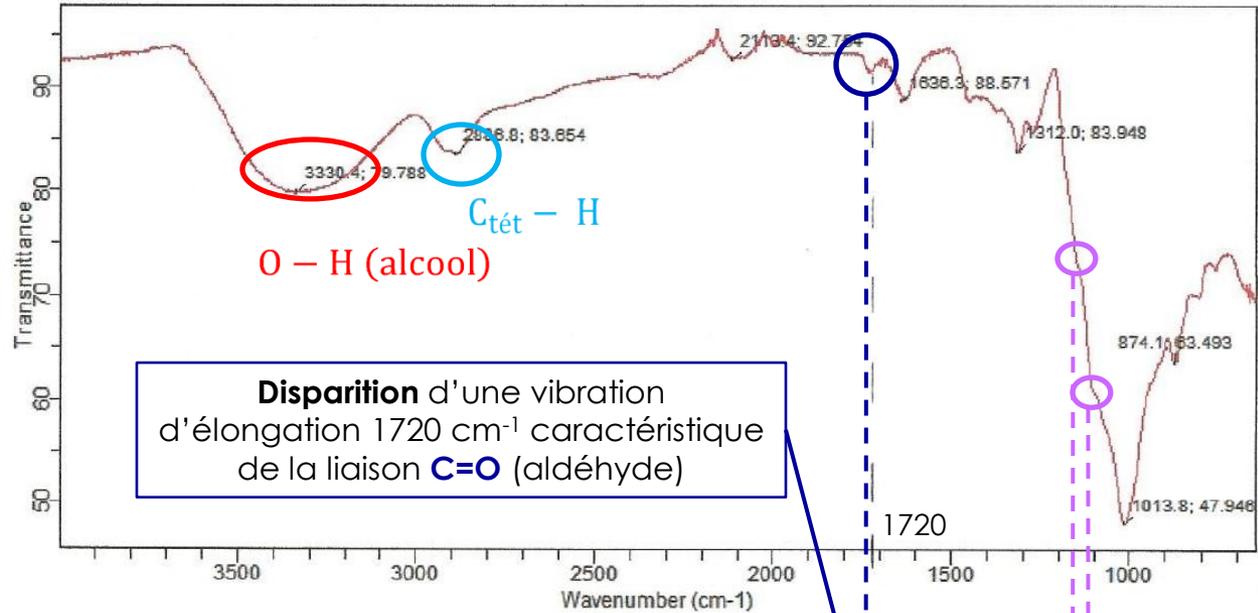


Glycérol / [H⁺]

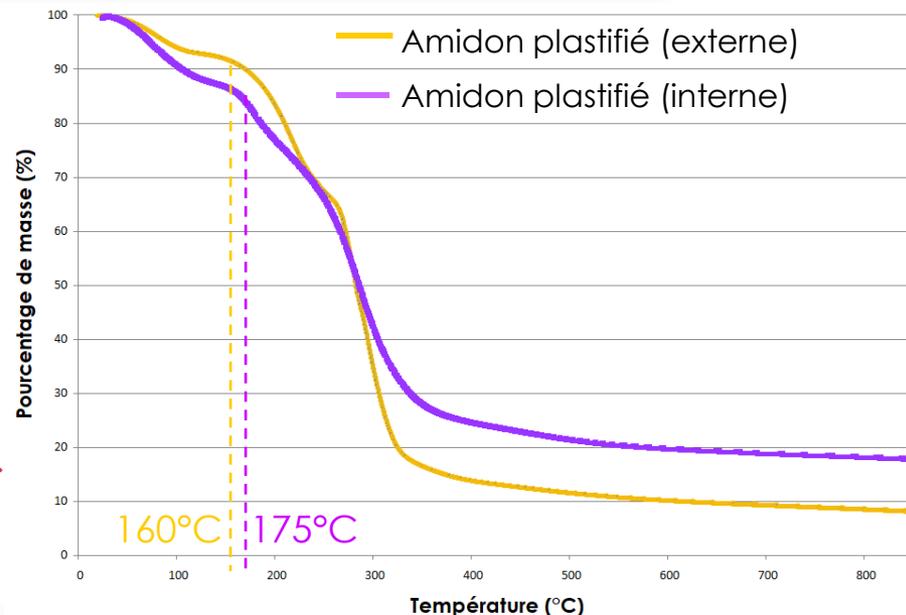
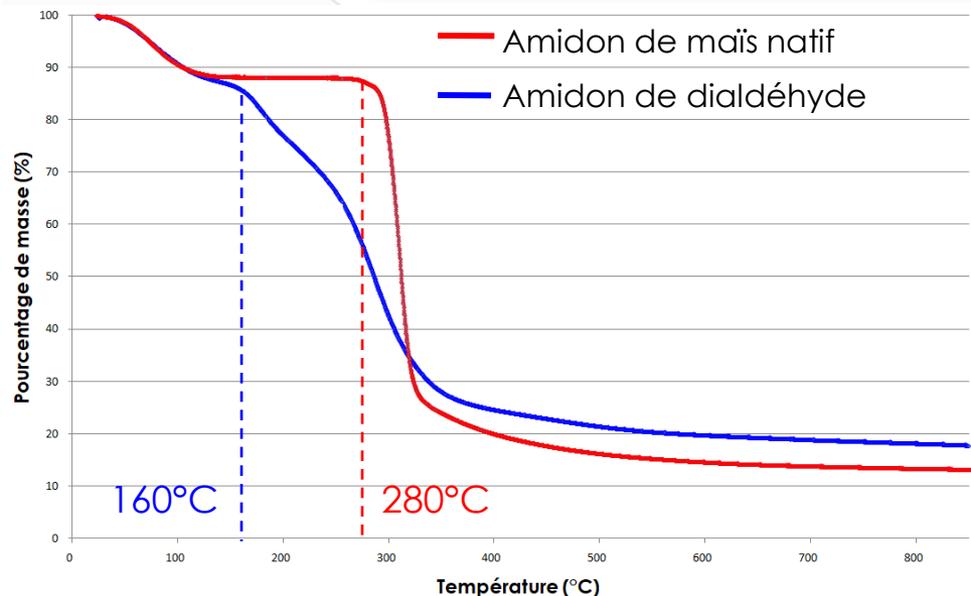
Spectre IR de l'amidon oxydé plastifié synthétisé



L'amidon de dialdéhyde a bien réagi avec le glycérol selon une réaction d'acétalisation



Courbes de la masse pondérée pour quatre échantillons en fonction de la température (expérimentales)



Paramètres:

- De 25°C à 850°C
- Rampe de 10°C/min
- Gaz Réactif: Diazote débit 50mL/min
- Creusets en alumine

Augmentation de la résistance thermique

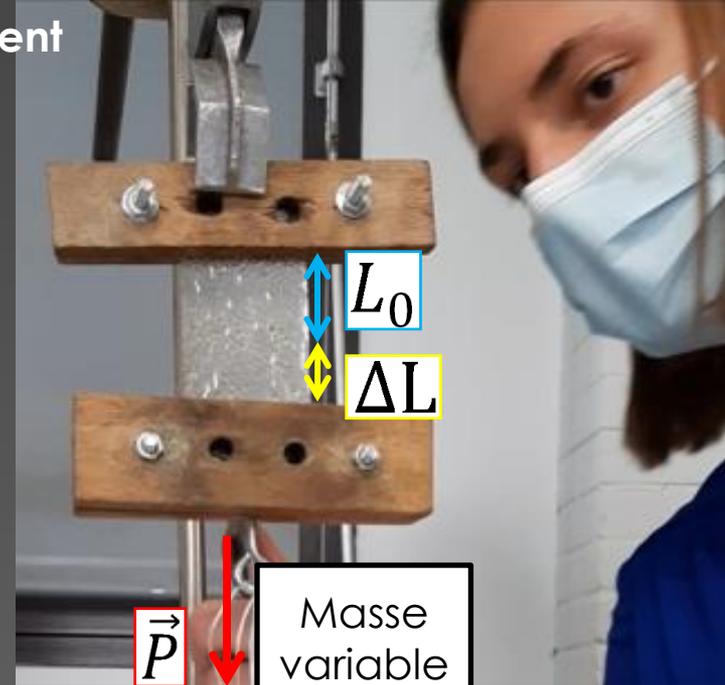
Echantillon		Début de décomposition
Amidon de maïs natif		280°C
Amidon de dialdéhyde (ATDS)		160°C
Amidon plastifié (1 ^{er} essai)		160°C
Amidon plastifié oxydé (3 ^{ème} essai)		175°C

Tests mécaniques

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

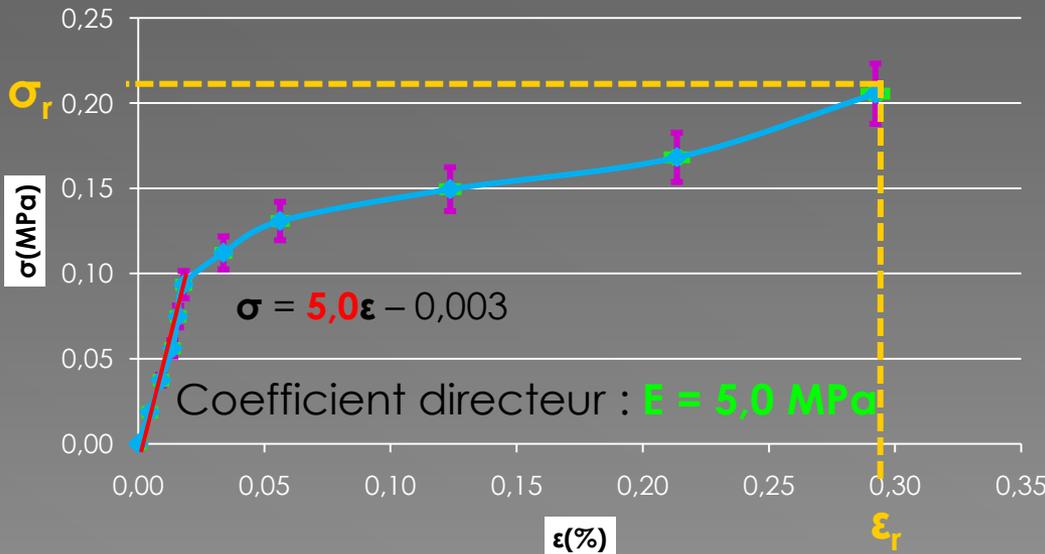
Tableau de mesures de la contrainte maximale et de l'allongement à la rupture de l'**amidon de dialdéhyde plastifié**

Poids (N)	Longueur totale(cm)	Allongement (cm)	Sigma (MPa)	Epsilon (%)
0,00	4,45	0	0,000	0,000
0,10	4,47	0,02	0,019	0,0045
0,20	4,49	0,04	0,037	0,0090
0,29	4,51	0,06	0,056	0,013
0,39	4,52	0,07	0,075	0,016
0,49	4,53	0,08	0,093	0,018
0,59	4,60	0,15	0,11	0,034
0,69	4,70	0,25	0,13	0,056
0,78	5,00	0,55	0,15	0,12
0,88	5,40	0,95	0,17	0,21
1,1	5,75	1,3	0,21	0,29

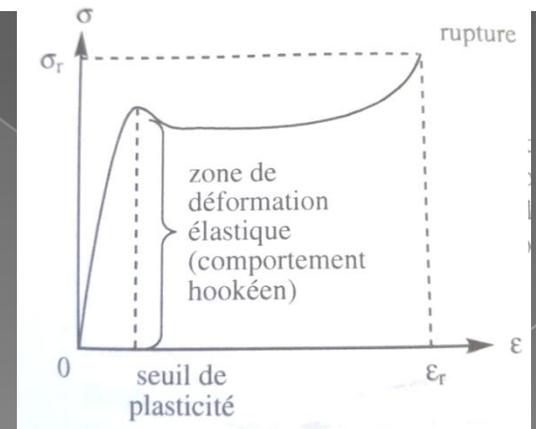


Masse variable

Contrainte-déformation du plastique synthétisé étiré uniaxialement (expérimentale)



Courbe de traction d'un polymère mou et résistant (référence littéraire [7])



Ordres de grandeur:

Module d'Young: $E = 30-40 \text{ MPa}$

Allongement à la rupture : $\epsilon_r < 7-8\%$

Contrainte à la rupture : $\sigma_r = 30-40 \text{ MPa}$

Conclusion

Amidon de maïs natif



Oxydation

Amidon de maïs de dialdéhyde



Synthèse

Acétylation



Amidon plastifié
(Glycérol à 7,5%)

Amidon plastifié
(Glycérol à 30%)

Amidon plastifié oxydé



Production mondiale de plastiques
issus de l'industrie pétrolière

Sources

-Plastics Europe, Plastics-The Fact 2020

https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf

-Thèse d'Adéline DAVID:

<https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/a9136500-fef7-4097-b5f0-2e2cfac6d25c>

-Thèse de Sara RONASI

[Thèse de Sara RONASI: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2012_0264_RONASI.pdf](http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2012_0264_RONASI.pdf)

-Yingfeng Zuo, Wenjie Liu, Junhua Xiao, Xing Zhao, Ying Zhu, Yiqiang Wu

Preparation and characterization of dialdehyde starch by one-step acid hydrolysis and oxidation

<https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-biological-macromolecules>

-Jiugao Yu, Peter R. Chang, Xiaofei Ma

The preparation and properties of dialdehyde starch and thermoplastic dialdehyde starch

<https://www.journals.elsevier.com/carbohydrate-polymers>

-Shui-Dong Zhang, Xiu-Li Wang, Yu-Rong Zhang, Ke-Ke Yang, Yu-Zhong Wang

Preparation of a new dialdehyde starch derivative and investigation of its thermoplastic properties

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10965-009-9330-7>

- B. Fosset, J.-B. Baudin, F. Lahitète

Chimie tout-en-un, Chapitre 14 Editions Dunod 3ème Edition PC/PC*

Détermination de la teneur en groupements aldéhydes



Amidon de dialdéhyde (DAS)

C1 = 0,25 mol/L
V1 = 25 mL
C2 = 0,1 mol/L
V2 = 21,45mL
C3 = 0,125 mol/L
V3 = 15 mL
m = 0,2 g

4-Comment améliorer l'allongement de l'amidon plastifié?

Réactifs utilisés pour le dosage

Solution titrée:

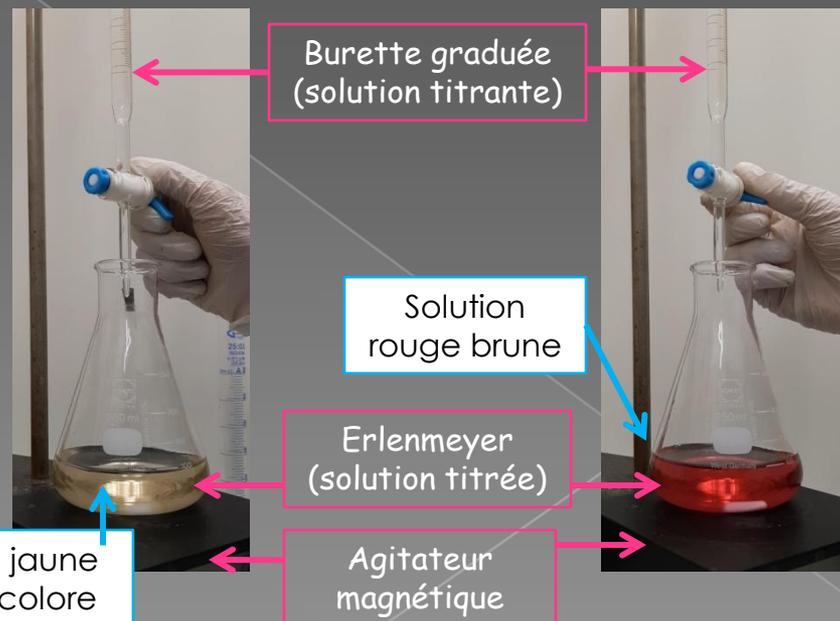
- 0,2 g de **ATDS** (amidon de dialdéhyde synthétisé)
- 10mL de **soude** (aq) à 0,25mol/L
- 15mL d'**acide sulfurique** (aq) à 0,125mol/L
- 0,2g de **charbon activé**
- 3 à 5 gouttes de **phénolphtaléine**

Solution titrante:

- Soude** (aq) à 0,1mol/L

Avant l'équivalence

Après l'équivalence



Burette graduée (solution titrante)

Solution rouge brune

Erlenmeyer (solution titrée)

Agitateur magnétique

Solution jaune pâle, incolore

$$CHO\% = \frac{C1 \times V1 + C2 \times V2 - 2 \times C3 \times V3}{m \times 1000} \times 161 \times 100$$

$$CHO\% = \frac{0,25 \times 25 + 0,1 \times 22,8 - 2 \times 0,125 \times 15}{0,2 \times 1000} \times 161 \times 100$$

$$CHO\% = 385 \%$$

Formule issue de *Preparation and characterization of dialdehyde starch by one-step acid hydrolysis and oxidation* [4]