

# Fabrication de bois transparent

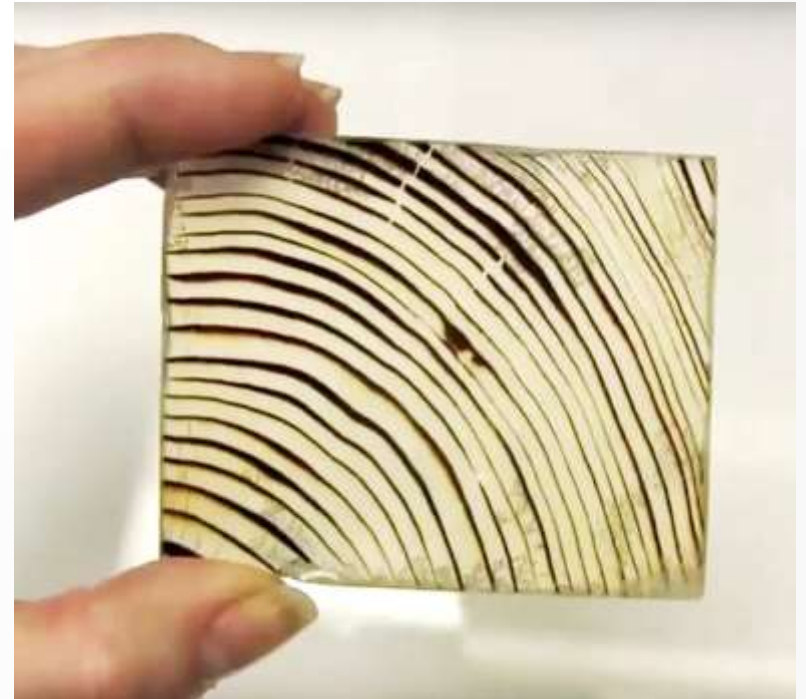


*Image NileRed*

**Aloïs Coquillard – n°40420**

# Sommaire

- Présentation
- Fabrication
- Caractérisation



*Image University of Maryland's Energy Research Center*

# Intérêt du matériau

- **Remplacer le verre :**

- Durée de dégradation ~ 3000 ans
- Fabrication coûteuse en énergie
- Raréfaction du sable



- **Recyclage du bois**

- **Résistance du bois et transparence du verre ?**



# Fabrication – Constitution du bois

## 3 polymères glucosés :

- Cellulose 50 %
- Hémicellulose 25 %
- Lignine 25 %

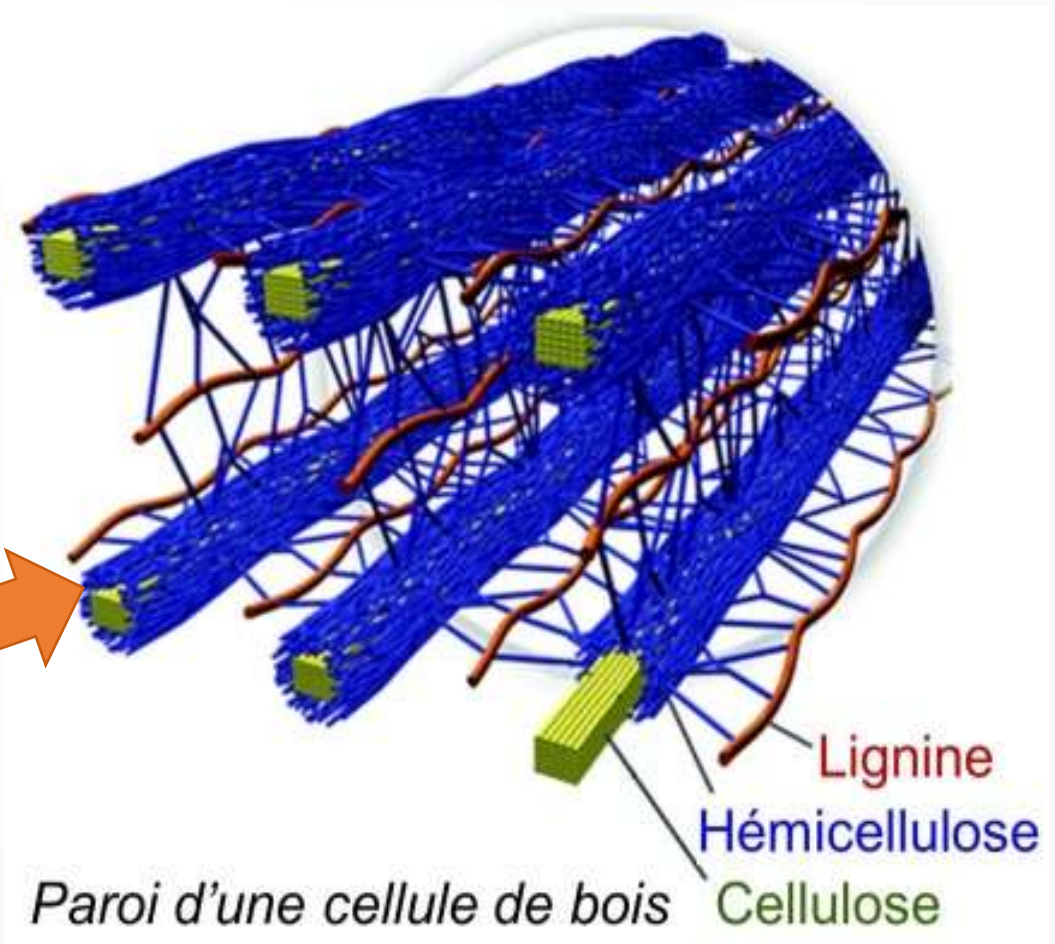


Image CEA.

# Fabrication – Constitution du bois

## 3 polymères glucosés :

- Cellulose 50 %
- Hémicellulose 25 %
- **Lignine 25 %**



**À supprimer !**

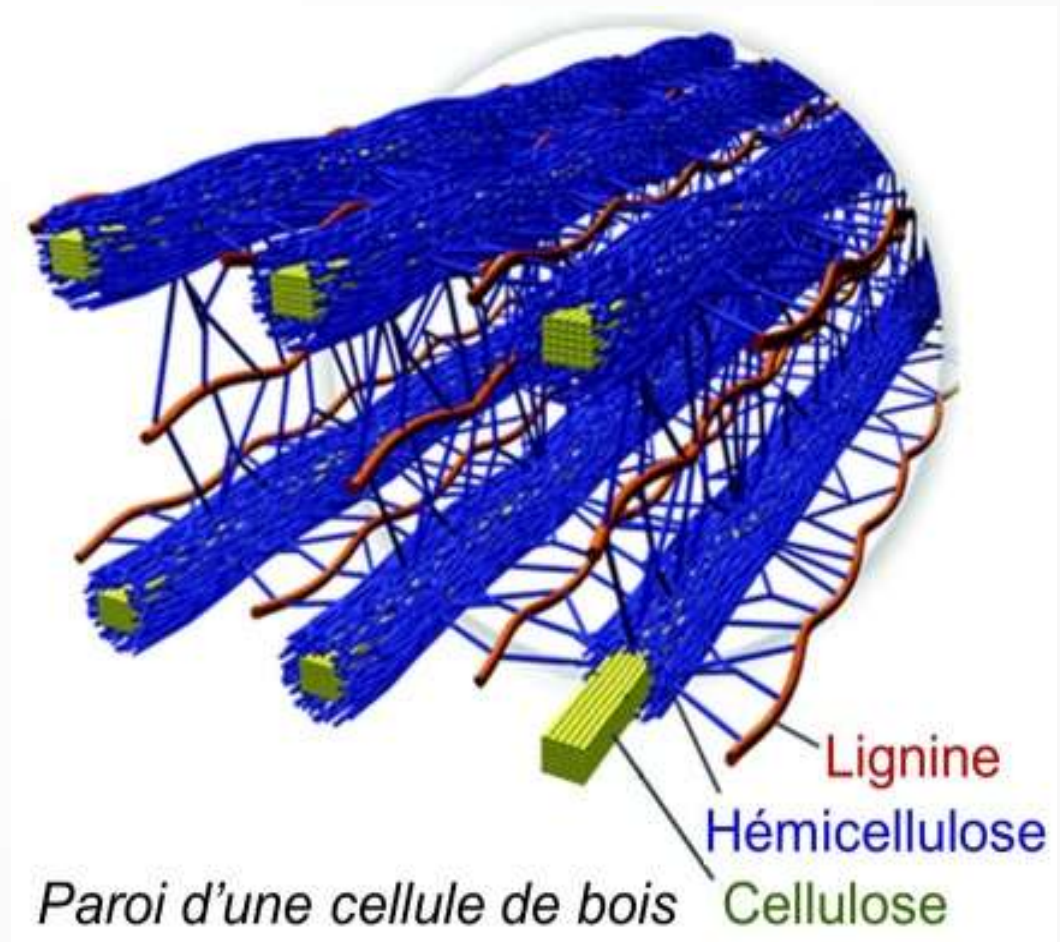


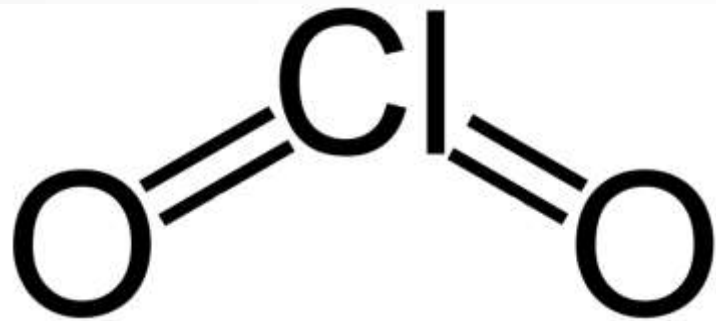
Image CEA.



# Fabrication – Procédé Kraft

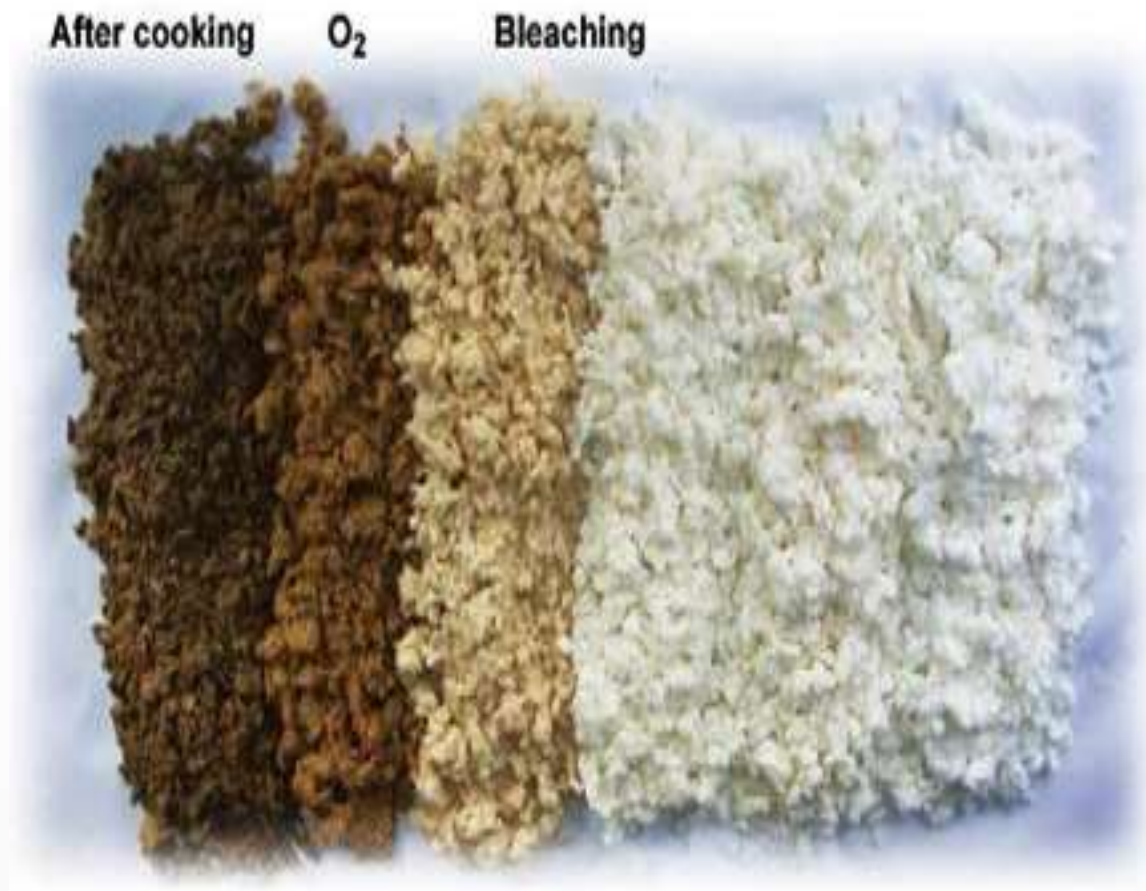
## Oxydation de la lignine

- $\text{ClO}_2/\text{Cl}_2$
- $E^\circ = 1,66 \text{ V}$



- En labo :  $\text{NaClO}_2$  ou  $\text{NaClO}_3$

## Oxydant de papeterie :

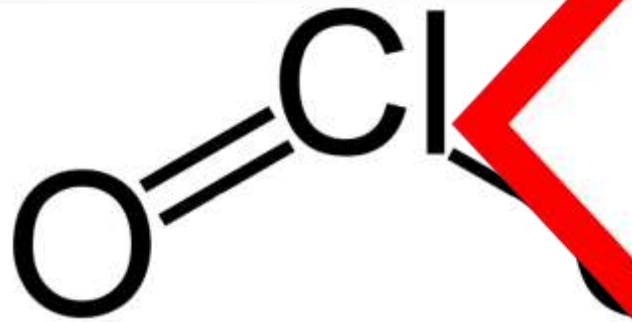


*Image Intra-science*

# Fabrication – Procédé Kraft

## Oxydation de la lignine

- $\text{ClO}_2/\text{Cl}_2$
- $E^\circ = 1,66 \text{ V}$



- En labo :  $\text{NaClO}_2$  ou  $\text{NaClO}_3$

## Oxydant de papeterie :

After cooking

$\text{O}_2$

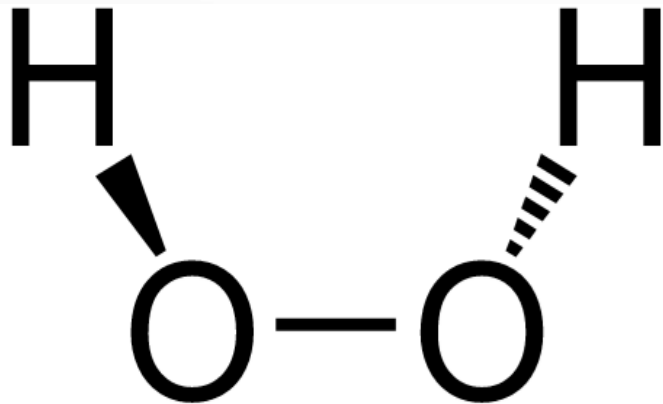
Bleaching



Image Intra-science

# Fabrication – eau oxygénée

- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
- $E^\circ = 1,77 \text{ V}$

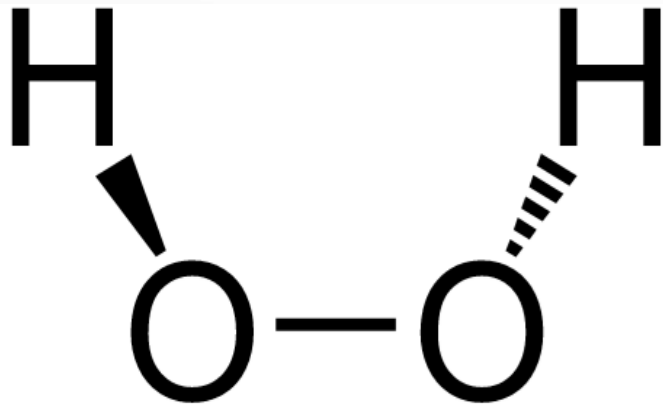




# Fabrication – eau oxygénée

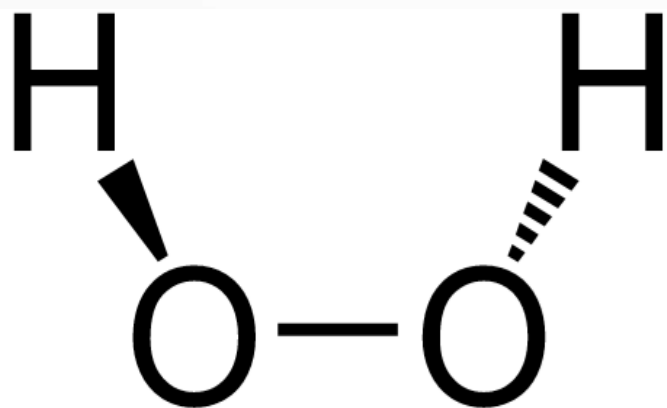
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
- $E^\circ = 1,77 \text{ V}$

- Dismutation :



# Fabrication – eau oxygénée

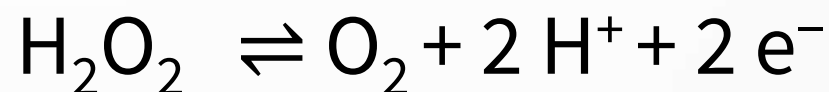
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
- $E^\circ = 1,77 \text{ V}$



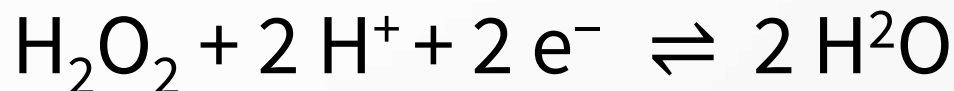
- Dismutation :



- Oxydation :

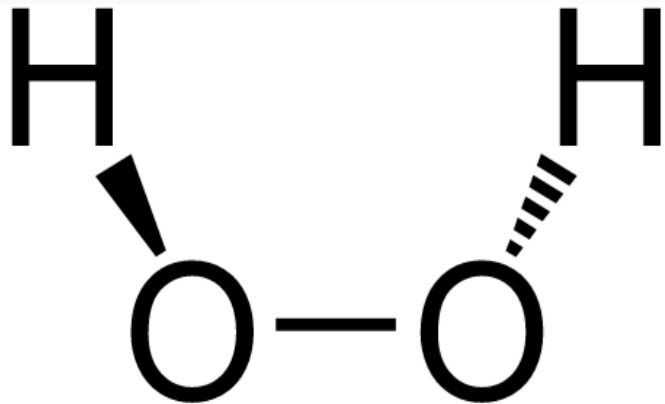


- Réduction :



# Fabrication – eau oxygénée

- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
- $E^\circ = 1,77 \text{ V}$



- Dismutation :  
 $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
- Oxydation :  
 $\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
- Réduction :  
 $\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$
- **Utilisable en labo**



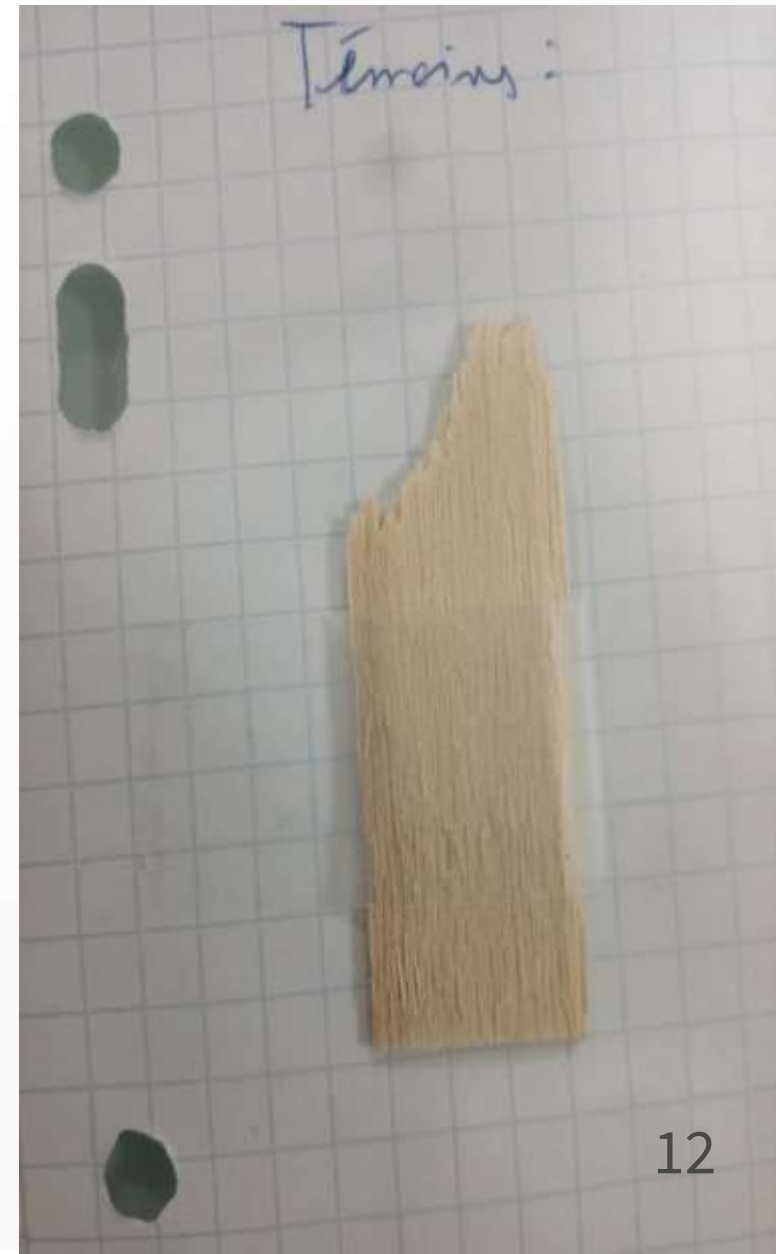
# Fabrication – choix des échantillons

- Bois pauvre en lignine (clair) :

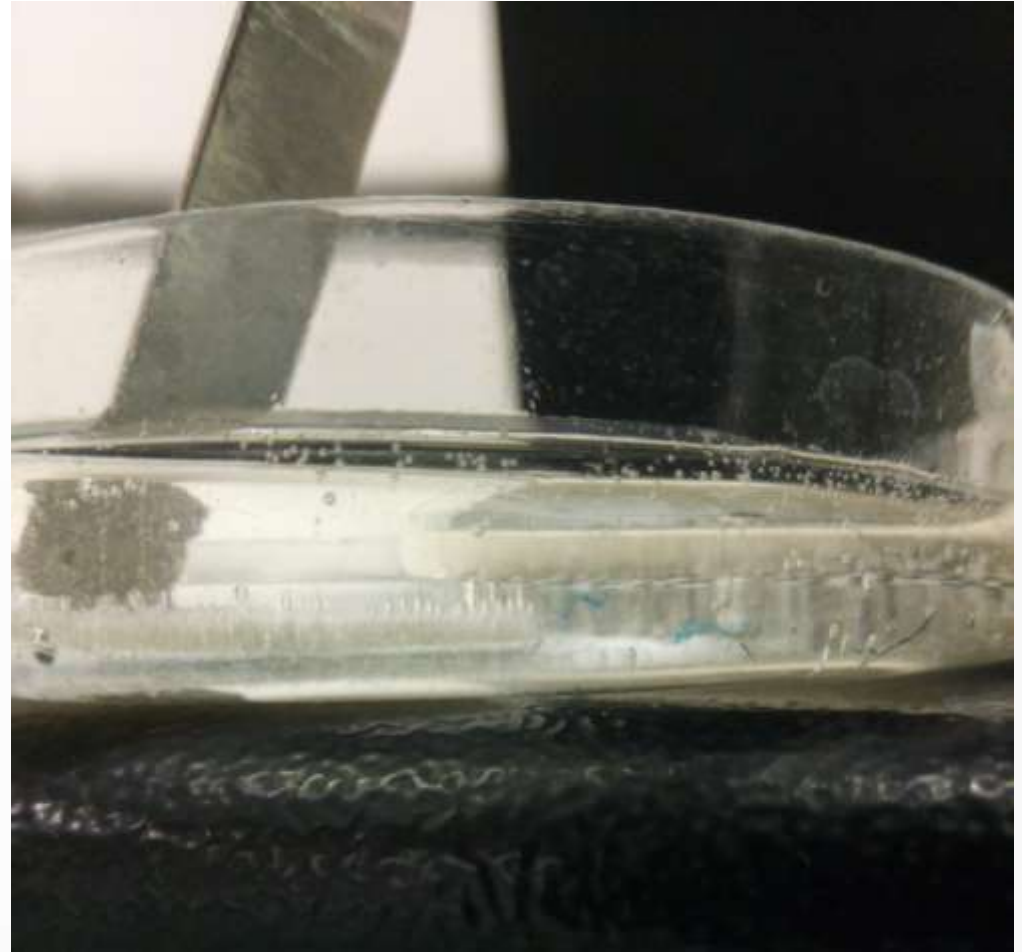
Bois type balsa, **bouleau**, pin

Faible épaisseur : 1,5 à 2,5 mm

☒ Bois de cagelette du commerce



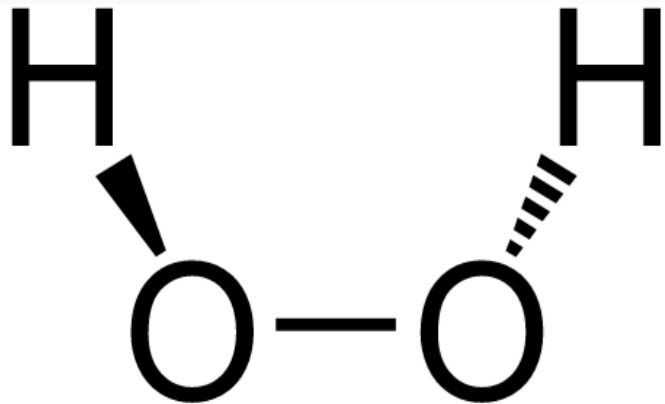
# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$



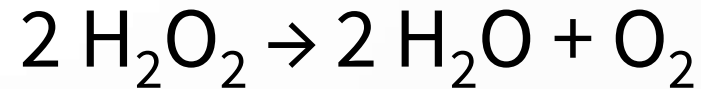
$\text{H}_2\text{O}_2$  dans boîtes de pétri ; la réaction produit  $\text{O}_2$  ( ? )

# Fabrication – eau oxygénée

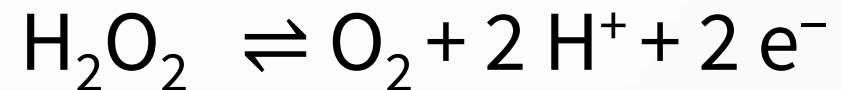
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
- $E^\circ = 1,77 \text{ V}$



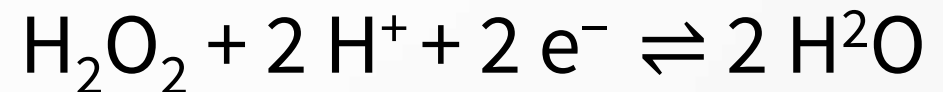
- Dismutation :



- Oxydation :



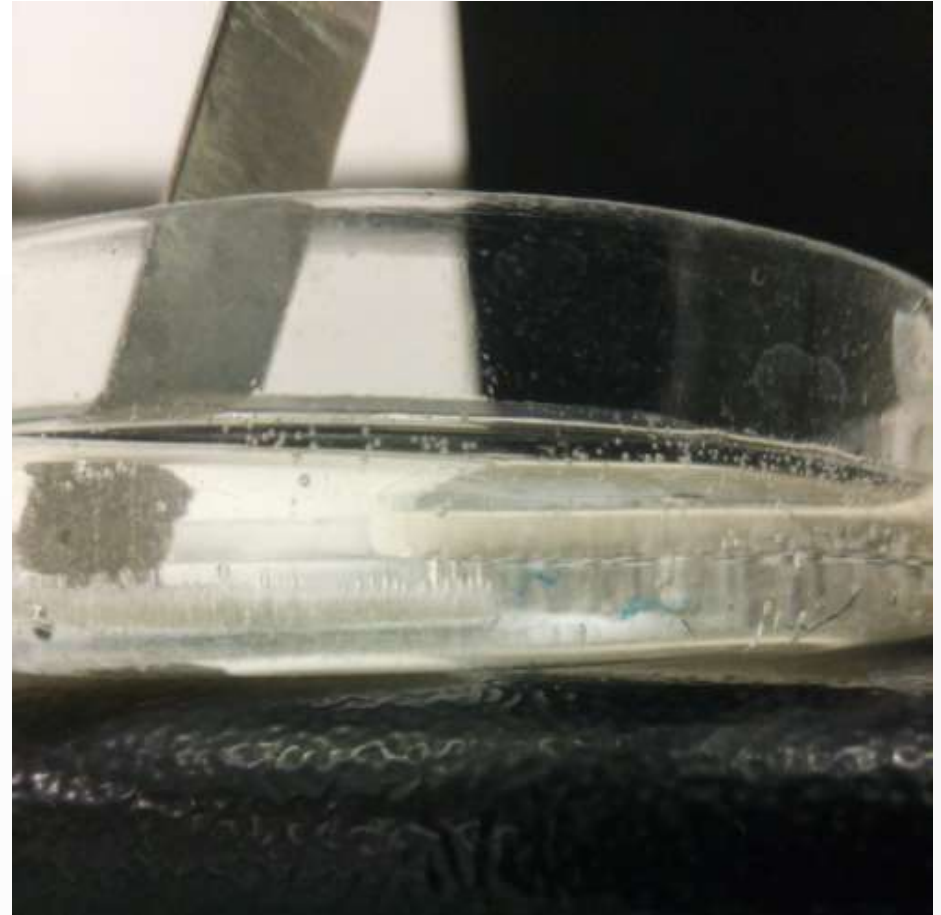
- Réduction :





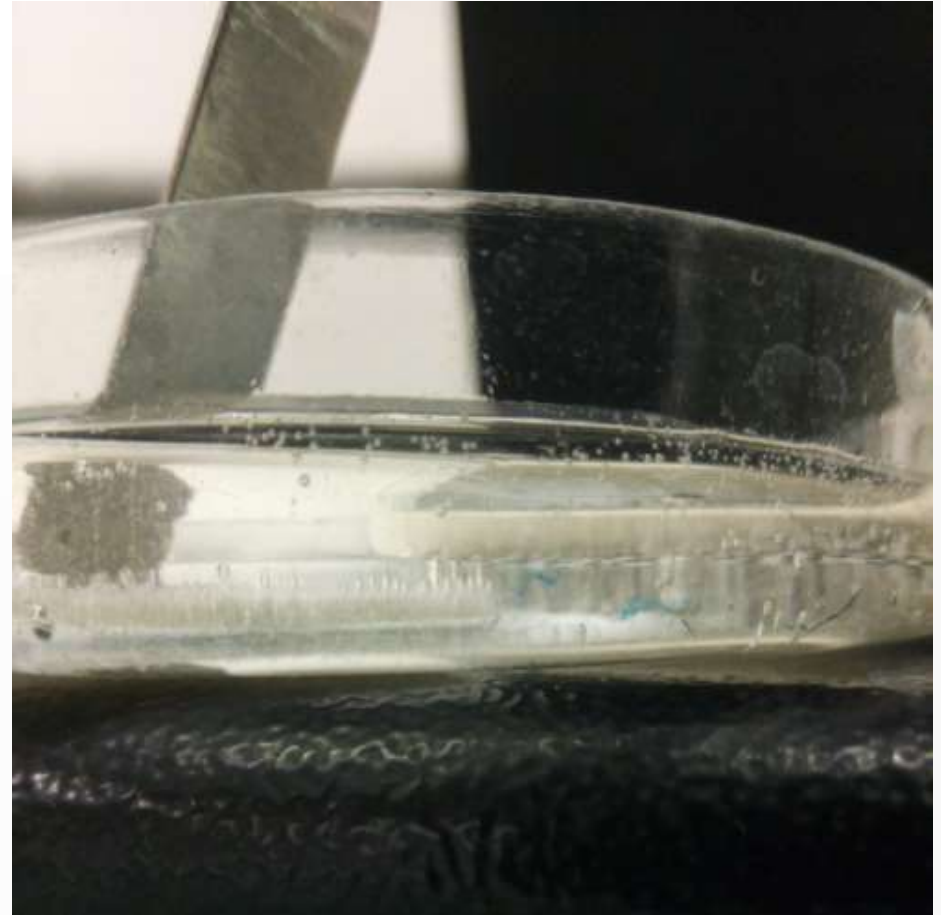
# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

- Réduction de la lignine ?



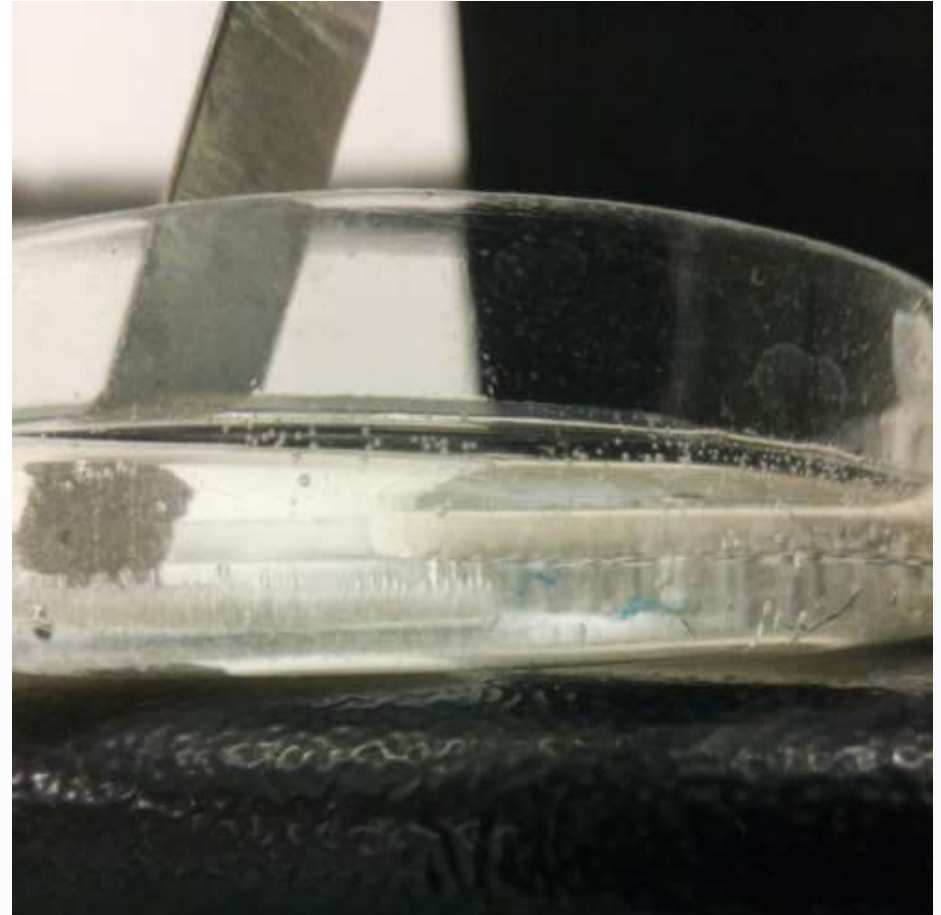
# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

- Réduction de la lignine ?
- Autre réaction ?



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

- Réduction de la lignine ?
- Autre réaction ?



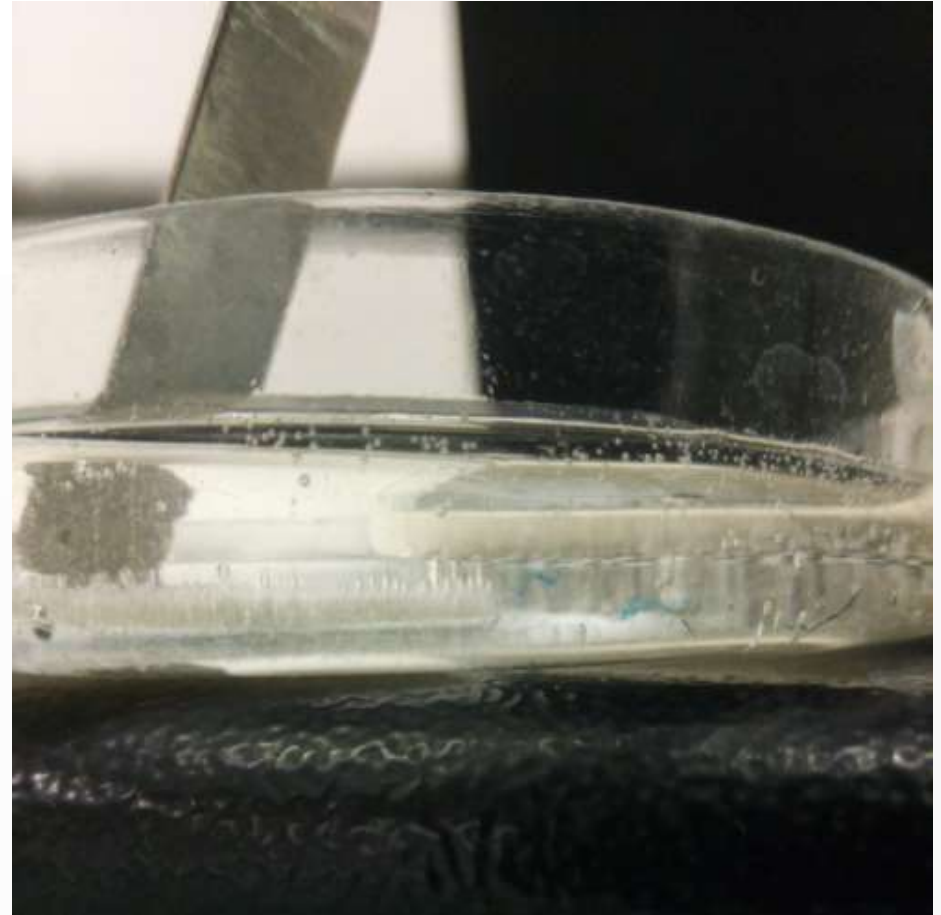


# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

- Réduction de la lignine ?
- Autre réaction ?



- Oxydation par des radicaux ?

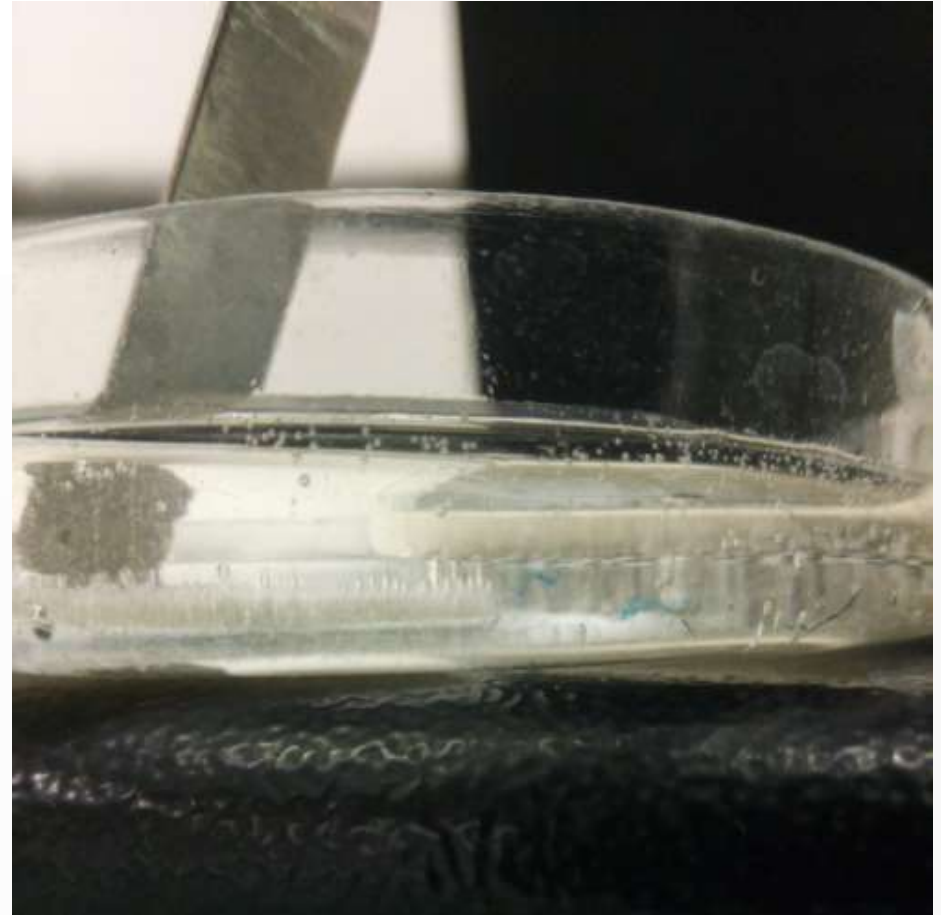


# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

- Réduction de la lignine ?
- Autre réaction ?



- Oxydation par des radicaux ?
- **Changeons le milieu réactionnel !**



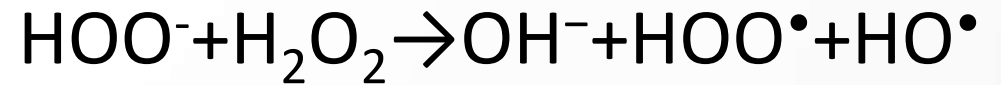
# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

**UV 395nm**



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

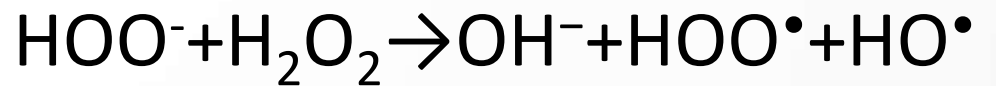
**UV 395nm**



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

**UV 395nm**

Après ~ 20 minutes :



Sans UV



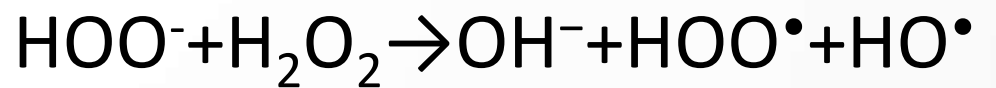
Avec UV



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

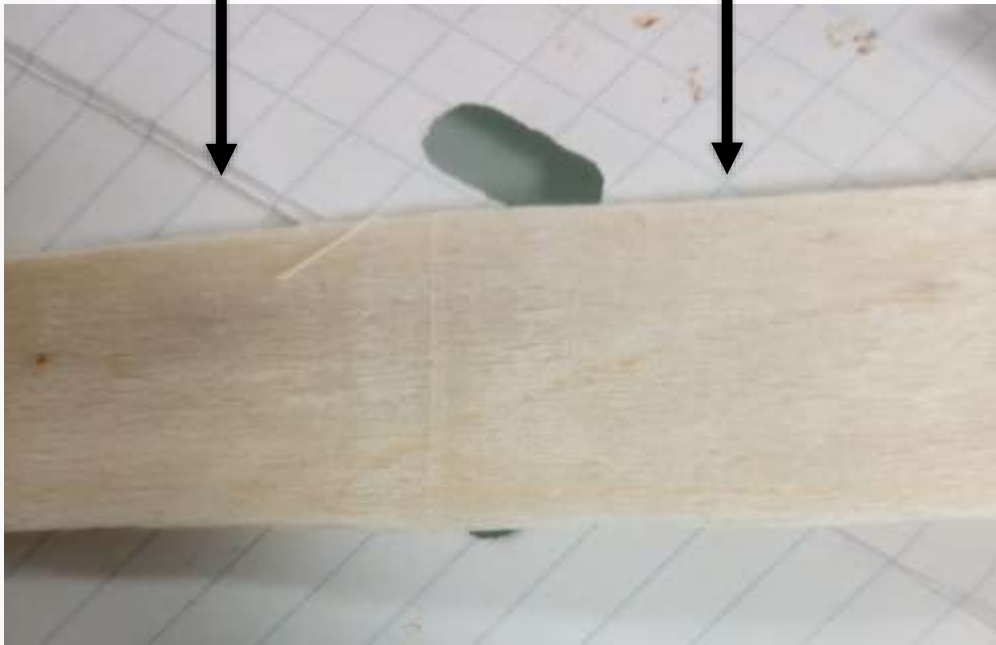
**UV 395nm**

Après ~ 20 minutes :



Sans UV

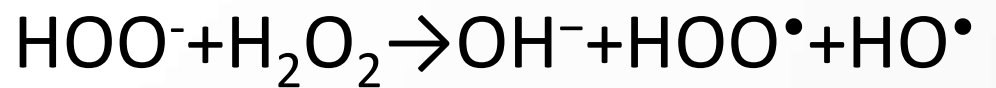
Avec UV



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$

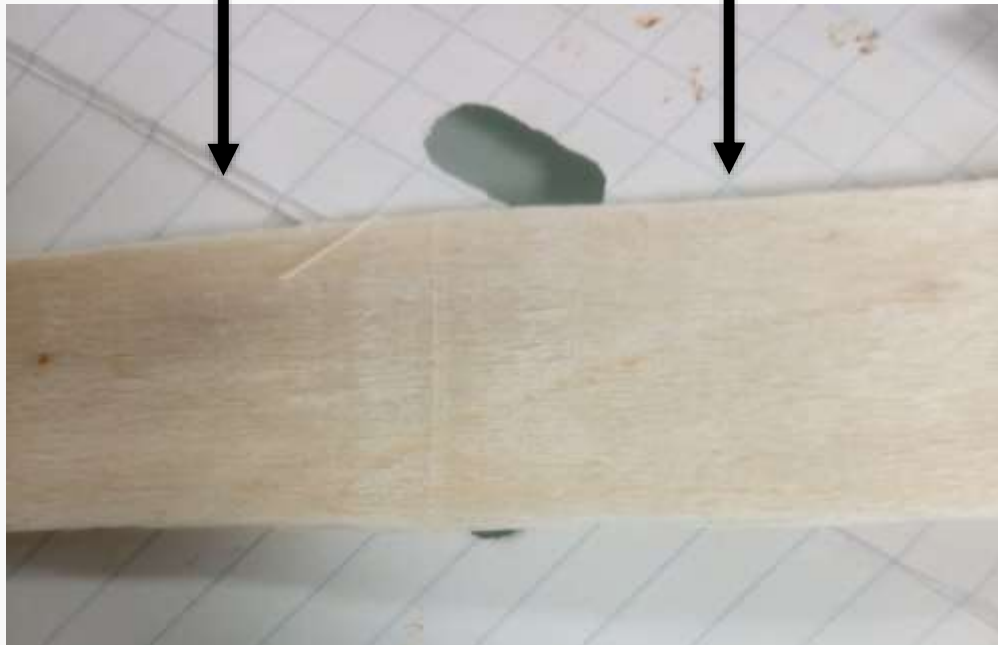
**UV 395nm**

Après ~ 20 minutes :



Sans UV

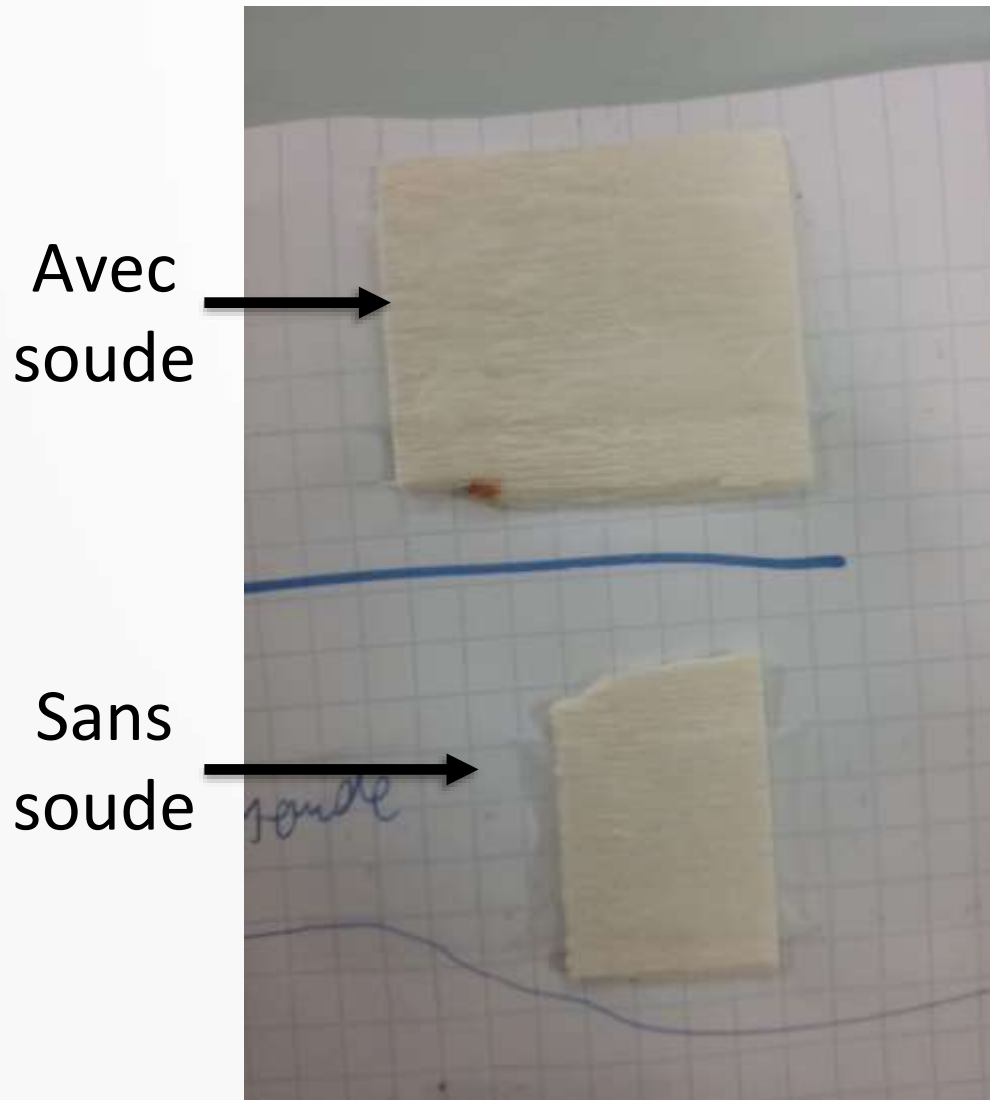
Avec UV



**Idem avec NaOH**



# Fabrication – expérimentations $\text{H}_2\text{O}_2$



Thermodynamique  
**inchangée**

# Fabrication – et les radicaux $\text{HO}\cdot$ ?

L'influence des UV (395nm) et de la soude n'est **que cinétique**.

La réaction est terminée en 30 minutes au lieu de ~4h

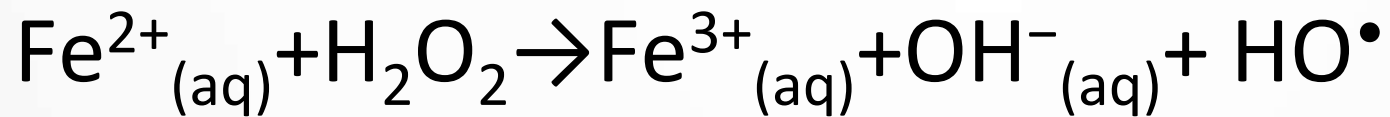
Réactifs	Temps de réaction
$\text{H}_2\text{O}_2$ seul	~ 4h
$\text{H}_2\text{O}_2$ avec NaOH	~ 2h
$\text{H}_2\text{O}_2$ avec UV	1h - 1h30
$\text{H}_2\text{O}_2$ avec UV et NaOH	30 - 45 minutes

# Fabrication – et les radicaux $\text{HO}\cdot$ ?

Réaction de Fenton :

# Fabrication – et les radicaux HO• ?

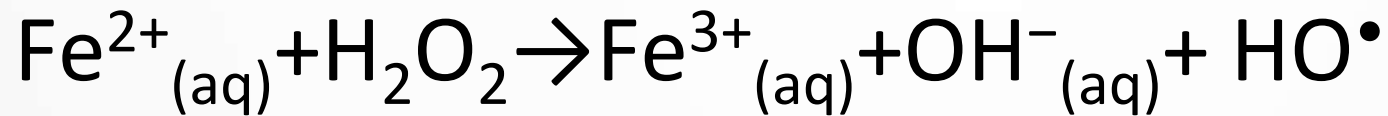
Réaction de Fenton :





# Fabrication – et les radicaux HO• ?

Réaction de Fenton :

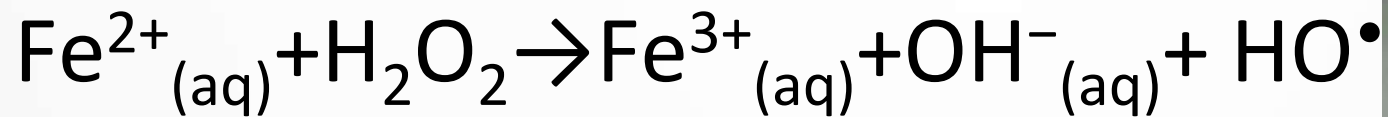


Rapport molaire :

1  $\text{Fe}^{2+}$  pour 100  $\text{H}_2\text{O}_2$

# Fabrication – et les radicaux HO• ?

## Réaction de Fenton :



Rapport molaire :

1  $\text{Fe}^{2+}$  pour 100  $\text{H}_2\text{O}_2$



# Fabrication – essais Fenton

Conditions expérimentales	Résultats
Faible concentration	Pas de résultats visibles
Concentration intermédiaire	Les ions $\text{Fe}^{3+}$ polluent le bois
Concentration élevée	Réaction incontrôlable
Faible concentration avec catalyse ( $\text{TiO}_2$ + ultrasons)	Pas de résultats visibles ou bois pollué

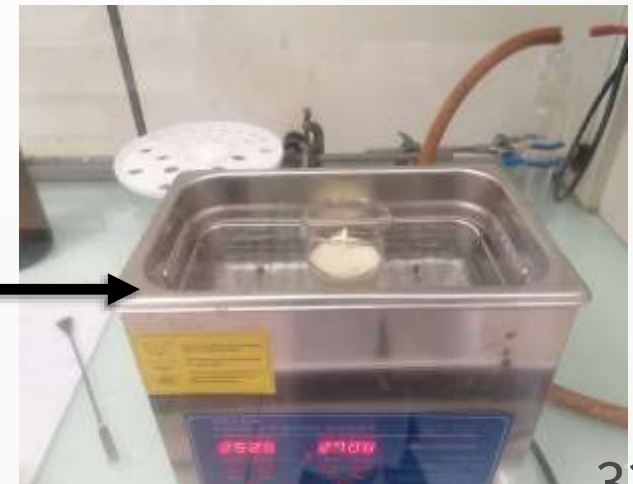
# Fabrication – essais Fenton

Conditions expérimentales	Résultats
Faible concentration	Pas de résultats visibles
Concentration intermédiaire	Les ions $\text{Fe}^{3+}$ polluent le bois
Concentration élevée	Réaction incontrôlable
Faible concentration avec catalyse ( $\text{TiO}_2$ + ultrasons)	Pas de résultats visibles ou bois pollué



# Fabrication – essais Fenton

Conditions expérimentales	Résultats
Faible concentration	Pas de résultats visibles
Concentration intermédiaire	Les ions $\text{Fe}^{3+}$ polluent le bois
Concentration élevée	Réaction incontrôlable
Faible concentration avec catalyse ( $\text{TiO}_2$ + ultrasons)	Pas de résultats visibles ou bois pollué



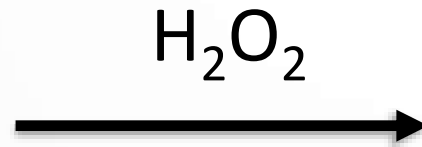


# Fabrication – à mi chemin !

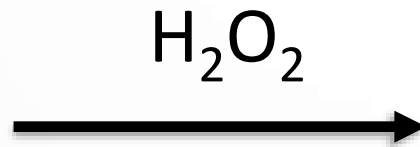


**Bois**

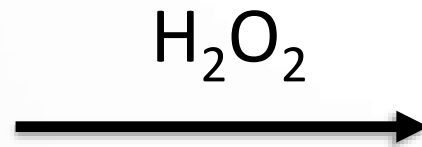
# Fabrication – à mi chemin !



# Fabrication – à mi chemin !

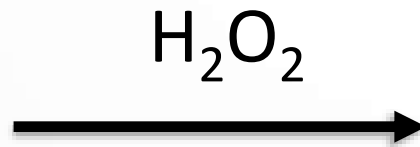


# Fabrication – à mi chemin !



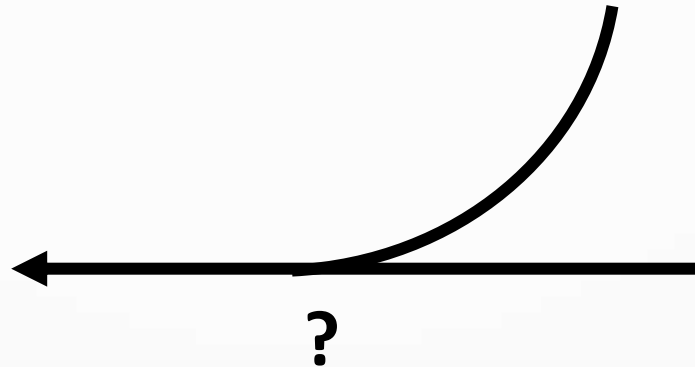
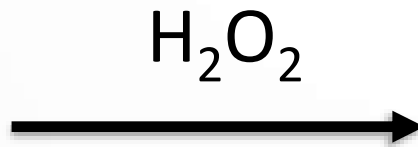
- Le matériau est **très diffusif**
- La suppression de la lignine l'a rendu **très fragile**

# Fabrication – à mi chemin !

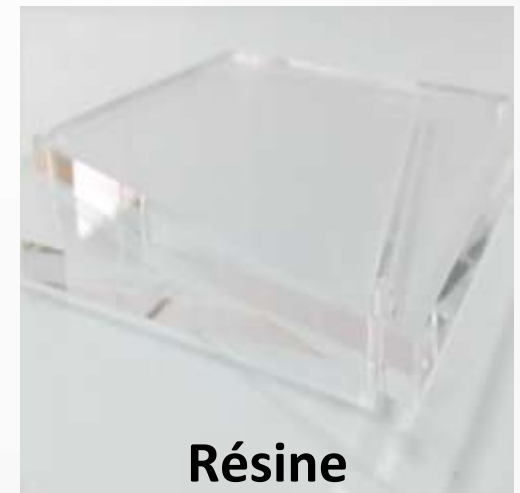
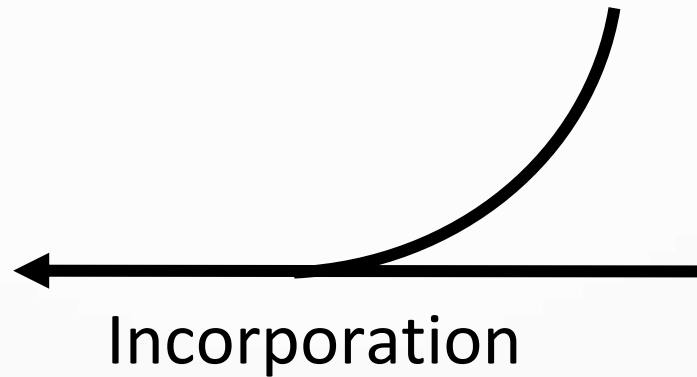
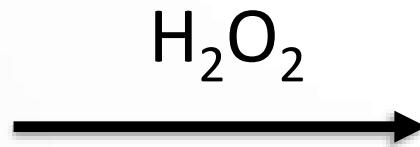




# Fabrication – à mi chemin !

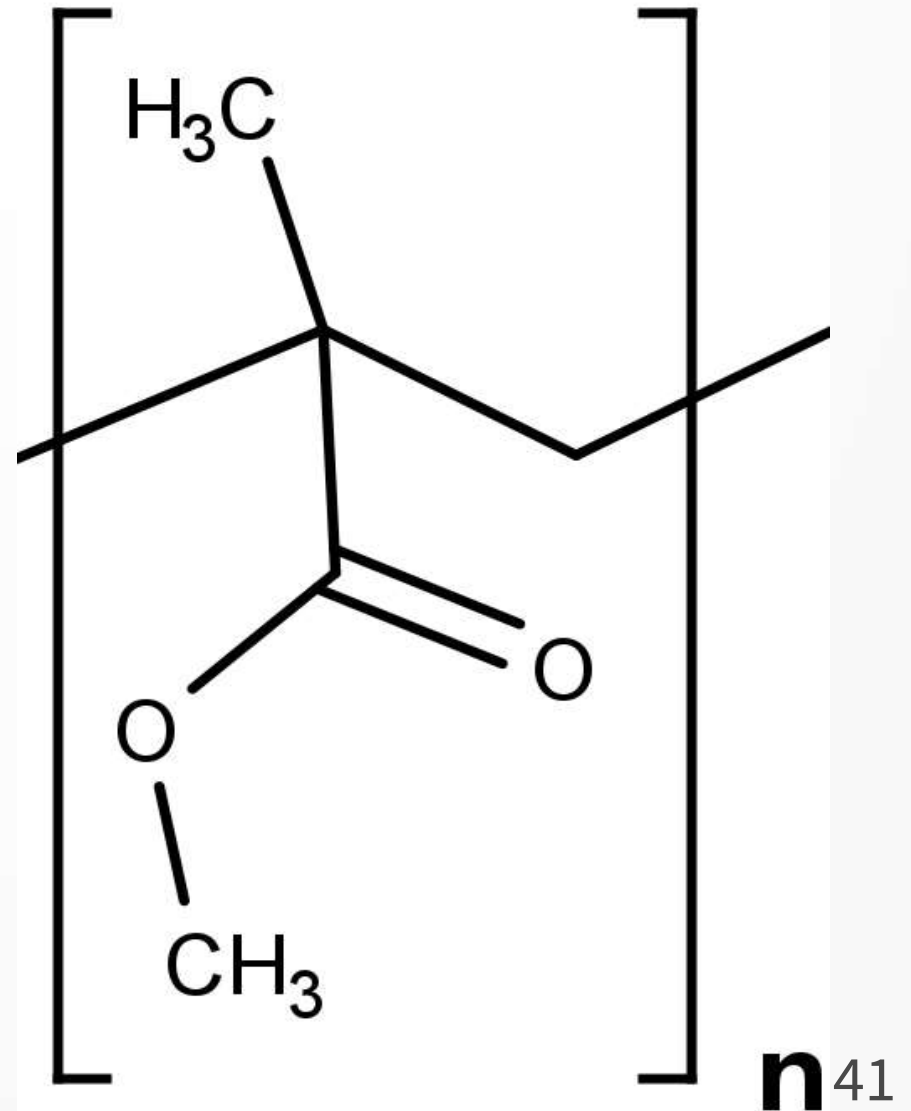


# Fabrication – à mi chemin !



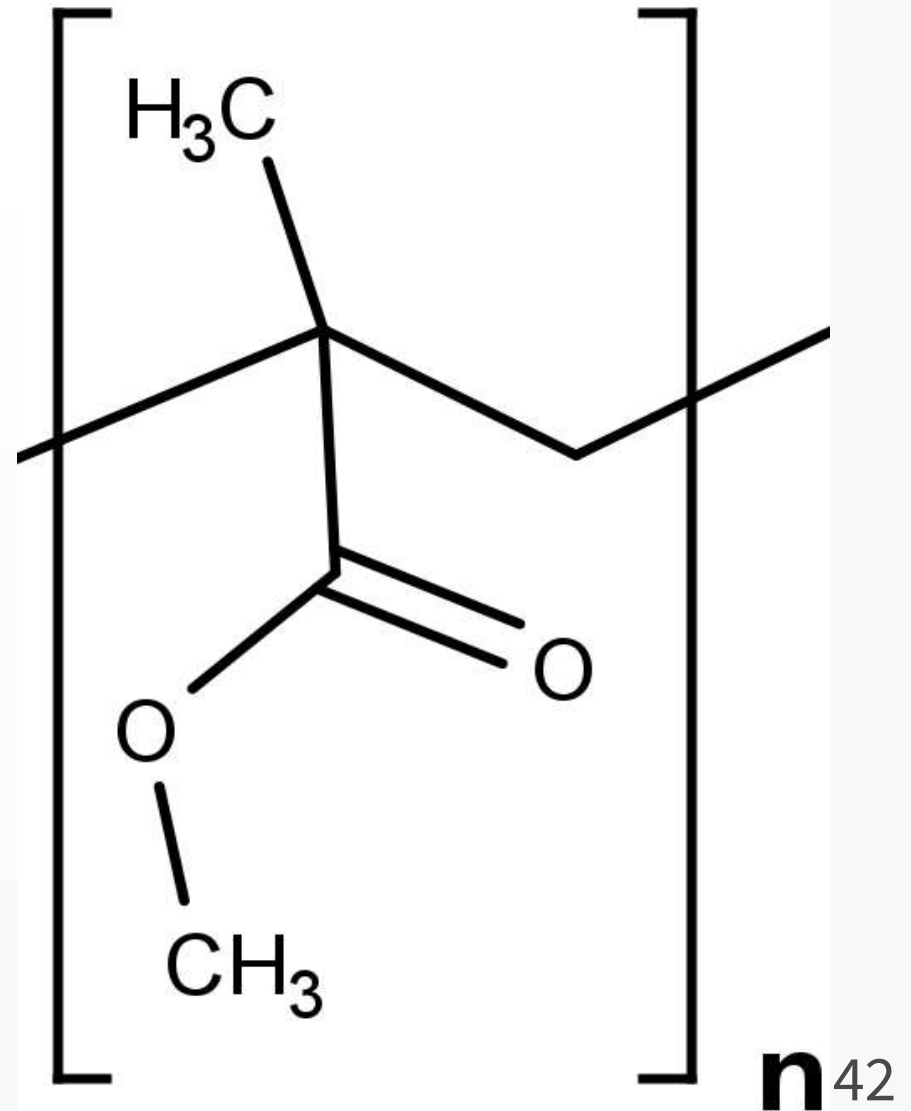
# Fabrication – Résine PMMA

- Polyméthylméthacrylate
- Aussi appelé Plexiglas  
Formule  $(C_5H_8O_2)_n$



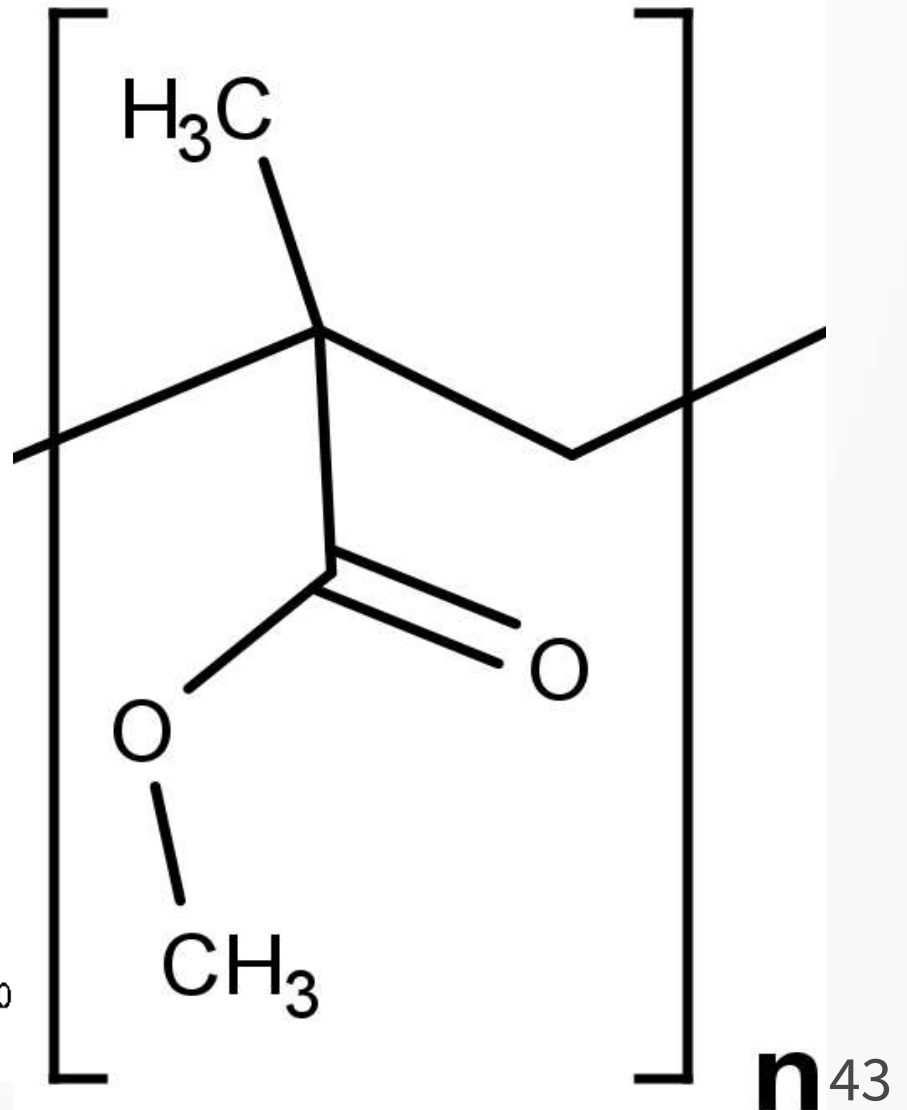
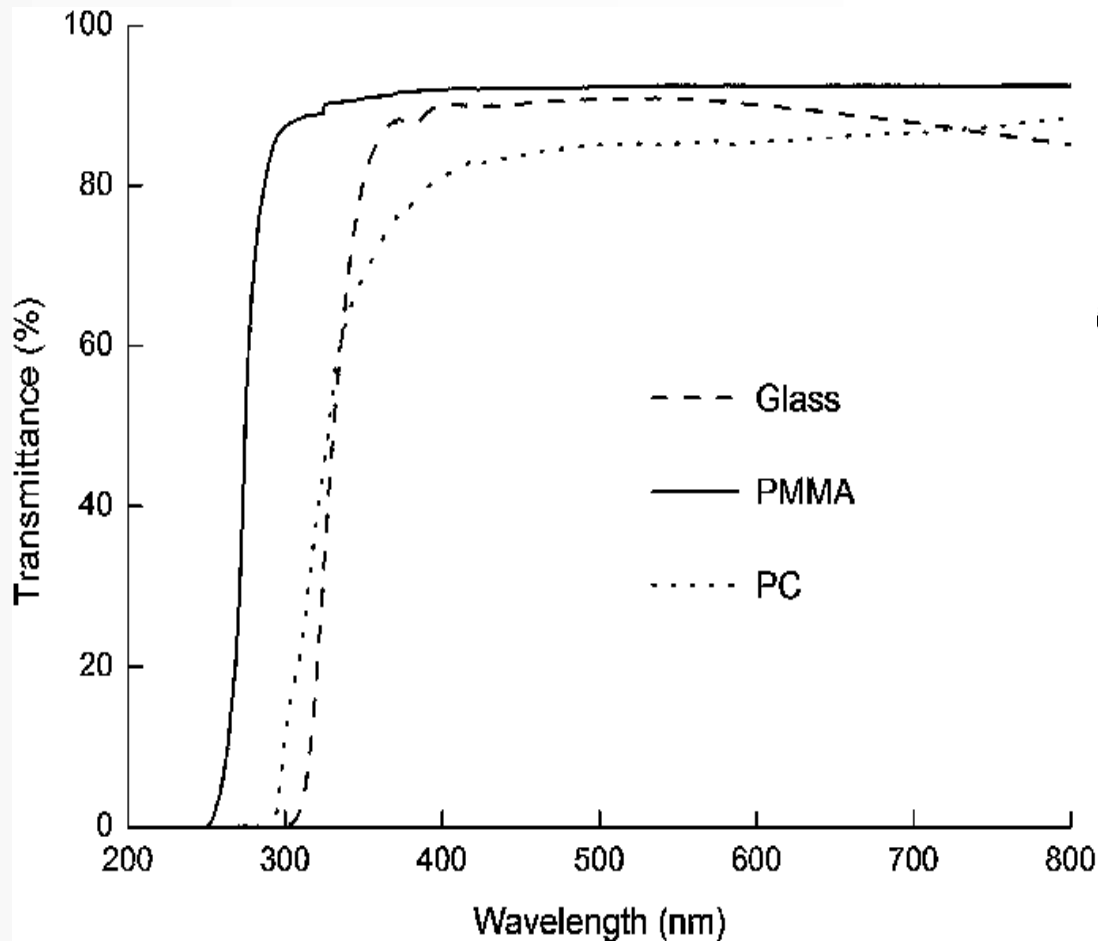
# Fabrication – Résine PMMA

- Polyméthylméthacrylate
- Aussi appelé Plexiglas  
Formule  $(C_5H_8O_2)_n$
- Réaction nécessitant un amorceur
- Cinétique contrôlable en laboratoire



# Fabrication – Résine PMMA

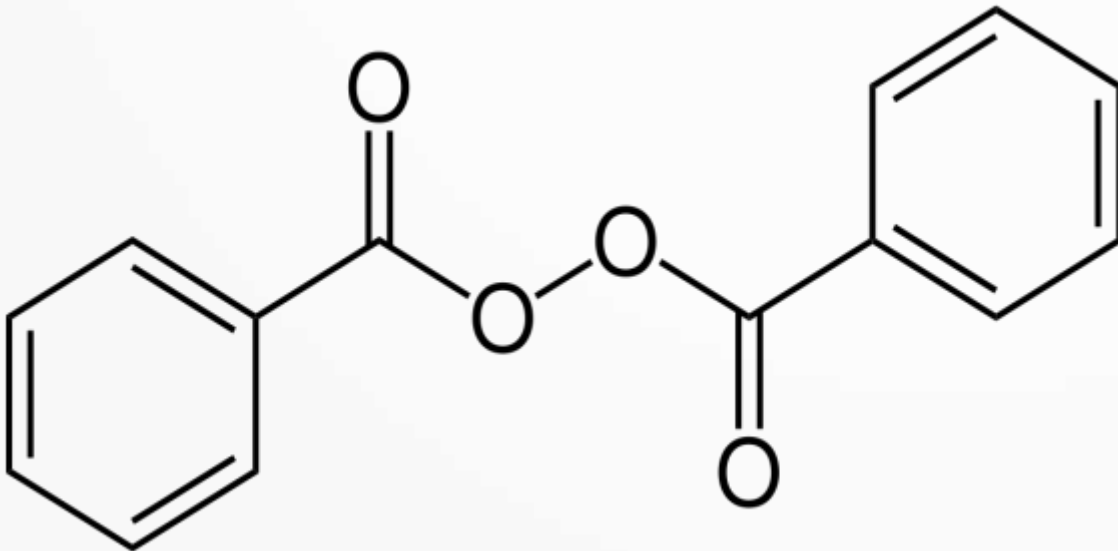
- Polyméthylméthacrylate





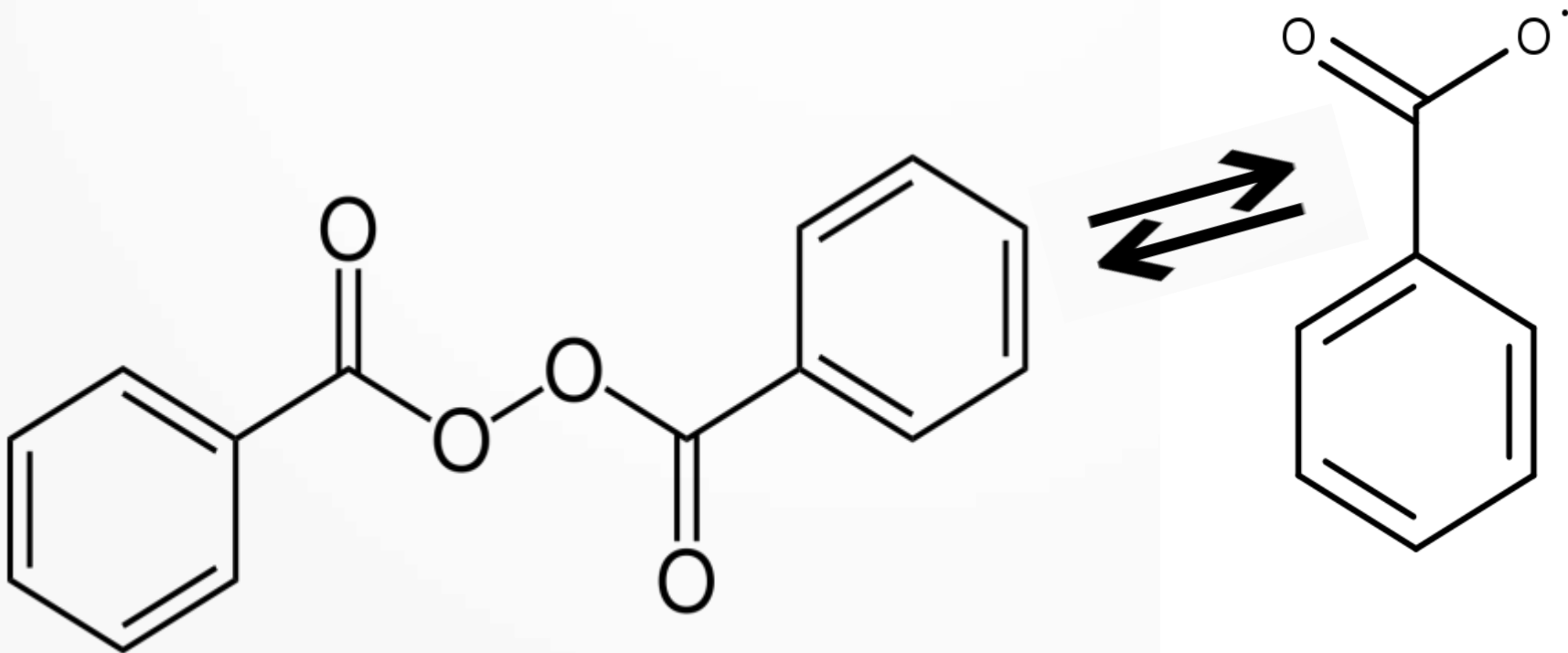
# Fabrication – Résine PMMA

- Polymérisation radicalaire
- Amorceur : peroxyde de benzoyle



# Fabrication – Résine PMMA

- Polymérisation radicalaire
- Amorceur : peroxyde de benzoyle



**2 x**

# Fabrication – Expérimentations PMMA



- 1g d'amorceur pour 10mL de MMA
- Montage à reflux
- Chauffage 70-80°C
- Solvant : toluène

# Fabrication – Expérimentations PMMA



Température de réaction	Résultat expérimental
60-75°C	Réaction lente mais contrôlable
80-95°C	Polymérisation soudaine incontrôlée

Rapport amorceur/MMA	Résultat expérimental
faible	Pas de réaction
élevé	Pas de réaction ou blanchissement*

# Fabrication – Expérimentations PMMA



Température de réaction	Résultat expérimental
60-75°C	Réaction lente mais contrôlable
80-95°C	<b>Polymérisation soudaine incontrôlée</b>

Rapport amorceur/MMA	Résultat expérimental
faible	Pas de réaction
élevé	Pas de réaction ou blanchissement*



# Fabrication – Expérimentations PMMA



Température de réaction	Résultat expérimental
60-75°C	Réaction lente mais contrôlable
80-95°C	Polymérisation soudaine incontrôlée

Rapport amorceur/MMA	Résultat expérimental
faible	Pas de réaction
élevé	Pas de réaction ou blanchissement*



# Fabrication – Synthèse du PMMA

- \*Blanchissement

# Fabrication – Synthèse du PMMA

- \*Blanchissement



# Fabrication – Synthèse du PMMA

- \*Blanchissement



3 semaines  
→



# Fabrication – Synthèse du PMMA

- \*Blanchissement



3 semaines  
→



Trop d'amorceur ou manipulations ultérieures ?

# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation

# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation





# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation



# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation



Bois + air  $\xrightarrow{\text{vide}}$  Bois + vide  $\xrightarrow{\text{air}}$  Bois + PMMA

# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation





# Fabrication – PMMA + bois = ?

- Incorporation



# Fabrication – Résultat final

- Résultats !

# Fabrication – Résultat final

- Résultats !





# Fabrication – Résultat final

- Résultats !



# Fabrication – Résultat final

- Résultats !

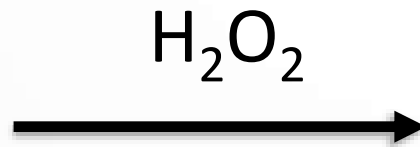


# Fabrication – Résultat

- Résultats !



# Fabrication – Fini !



Incorporati  
on





# Propriétés – résistance thermique

$$\lambda_{\text{bois-traité}} \approx \lambda_{\text{cellulose}} = 0,039 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{laine-de-verre}} = 0,046 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

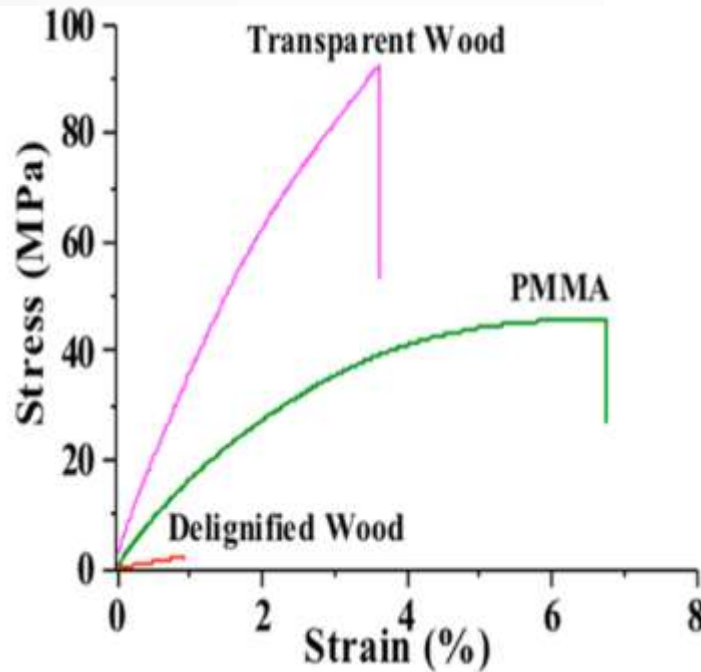
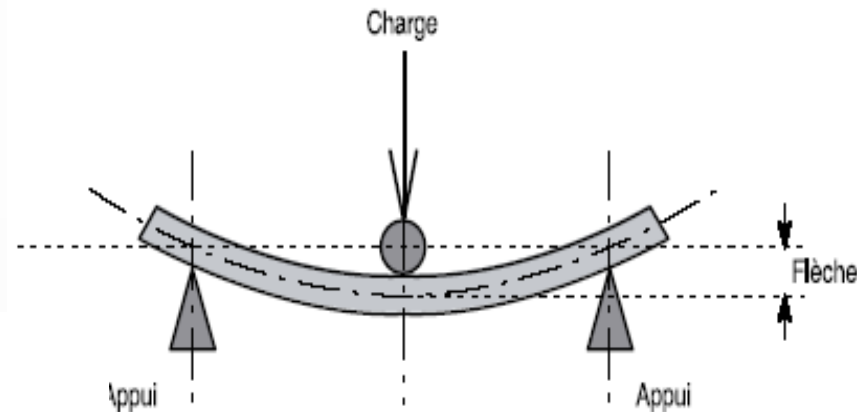
$$\lambda_{\text{epoxy}} = 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{bois}} = 0,039 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} * 0,8 + 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} * 0,2$$

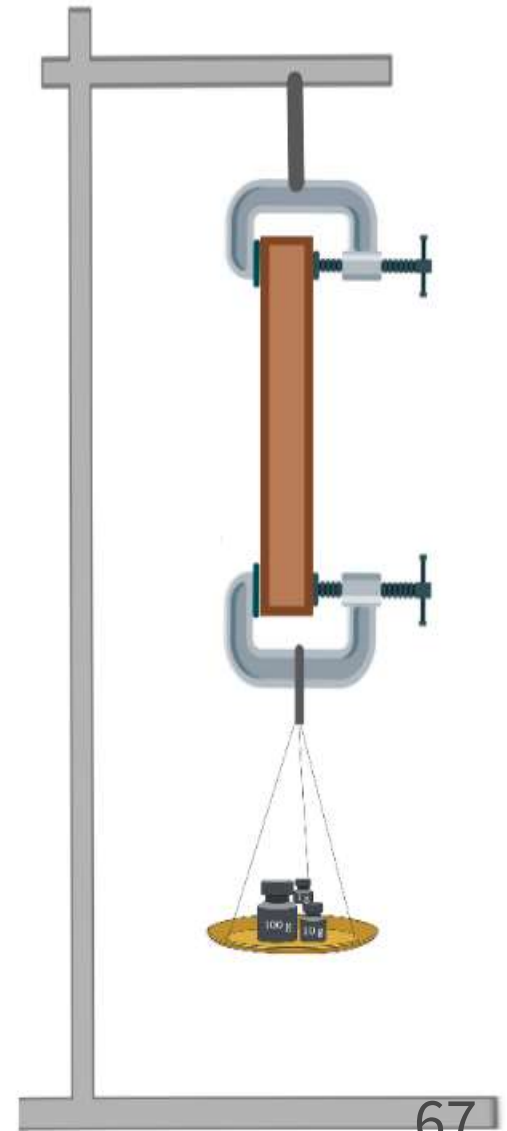
$$\lambda_{\text{bois}} = 0,081 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$



# Propriétés – contraintes mécaniques

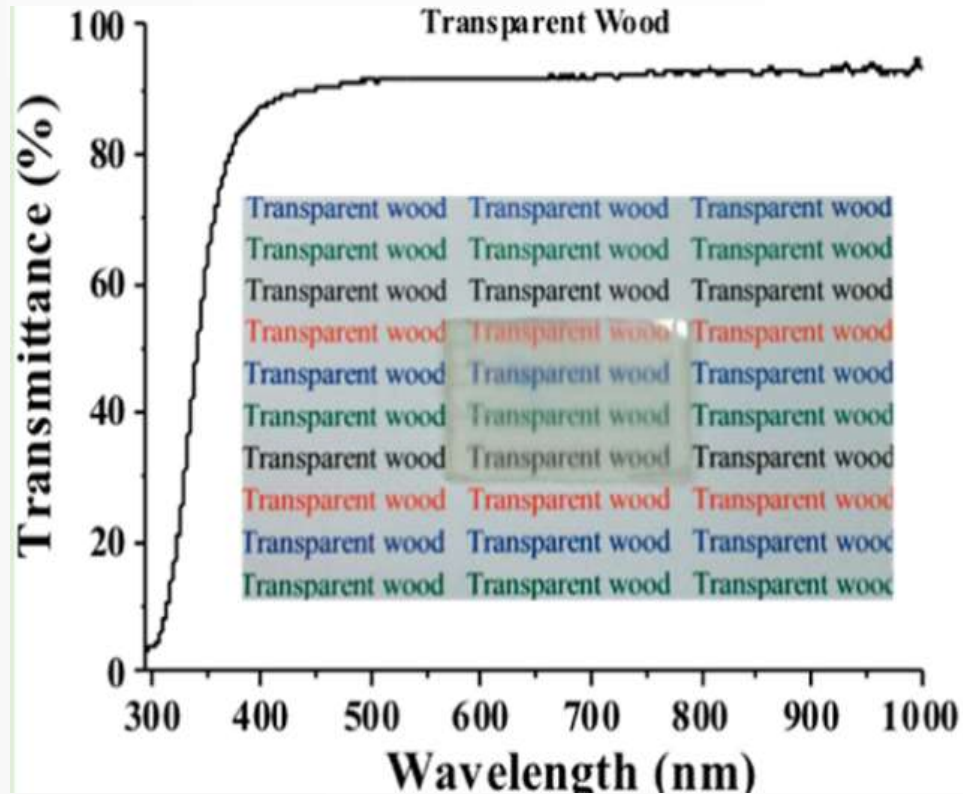


- Comportement en torsion
- Comportement en traction
- Module d'Young



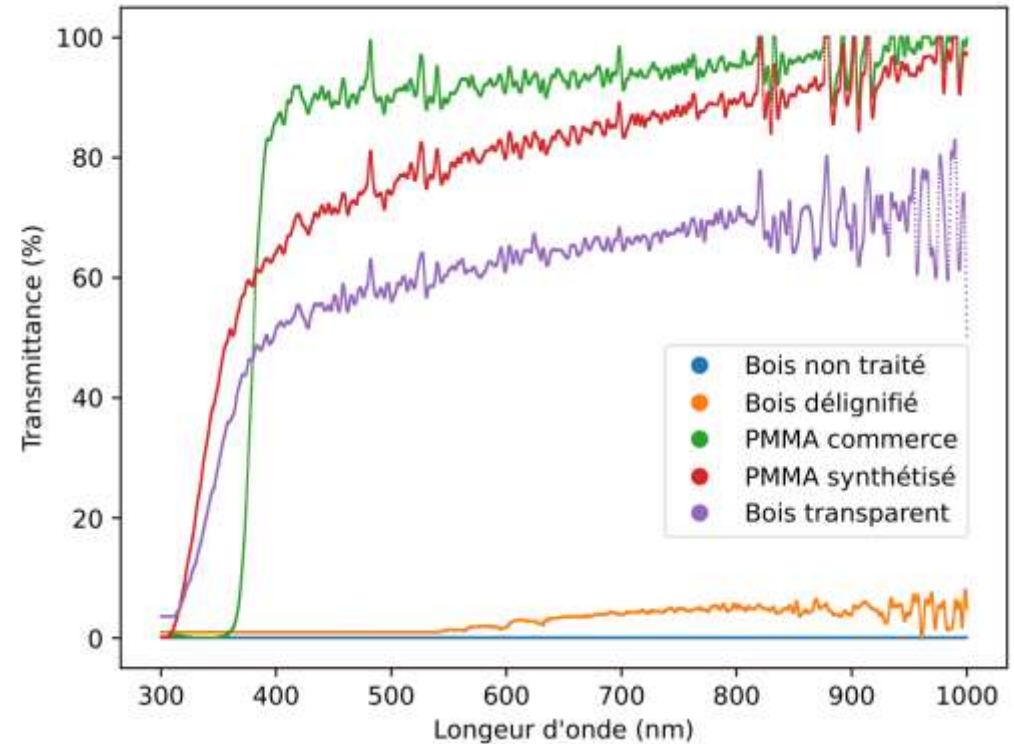
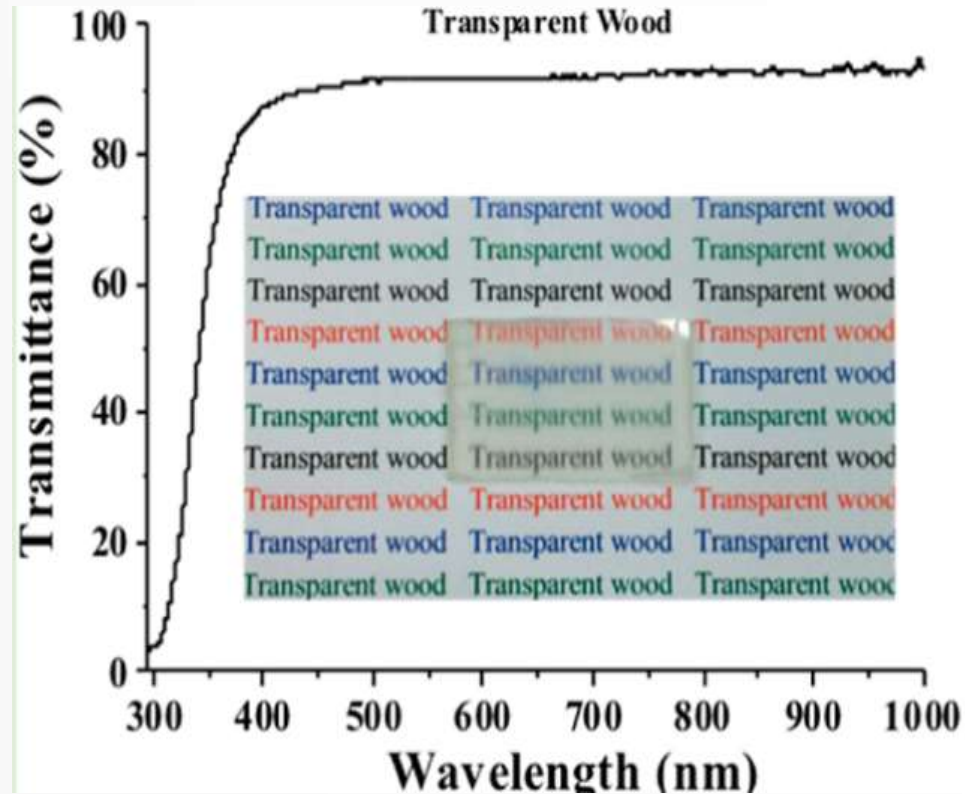


# Propriétés – optique



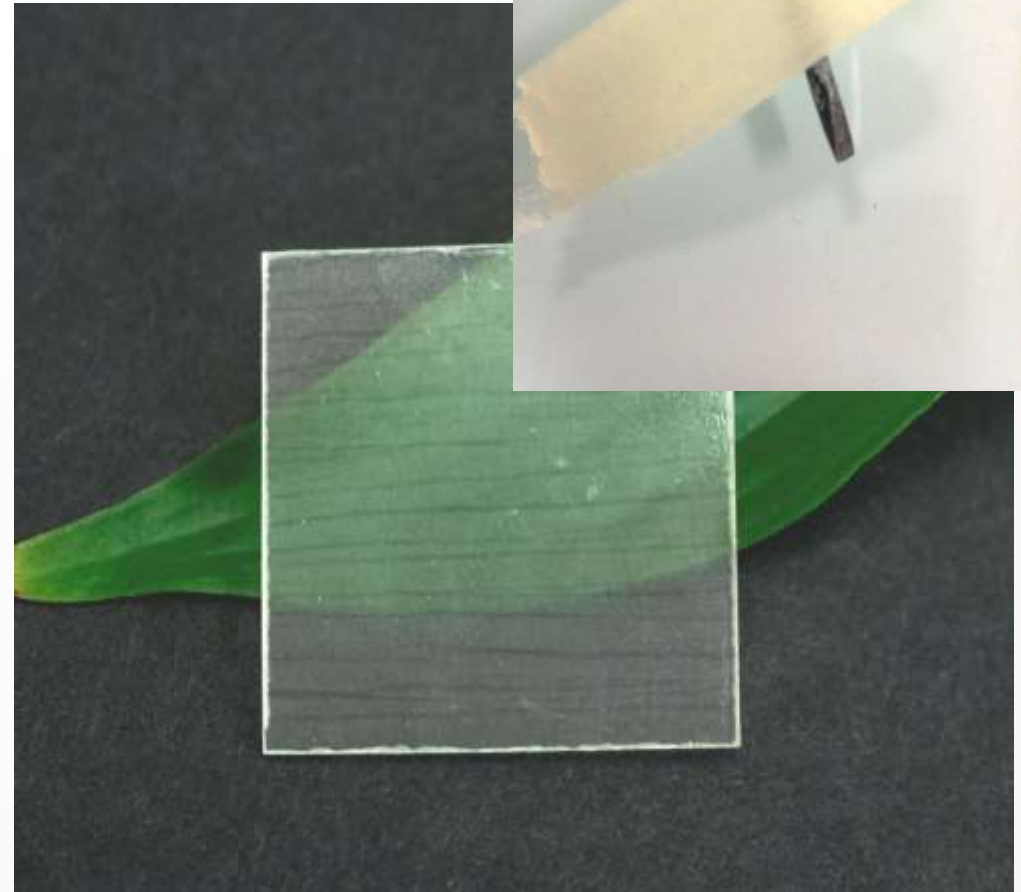
Étude de référence du projet, BioMacromolecules, 2016

# Propriétés – optique



Étude de référence du projet, BioMacromolecules, 2016

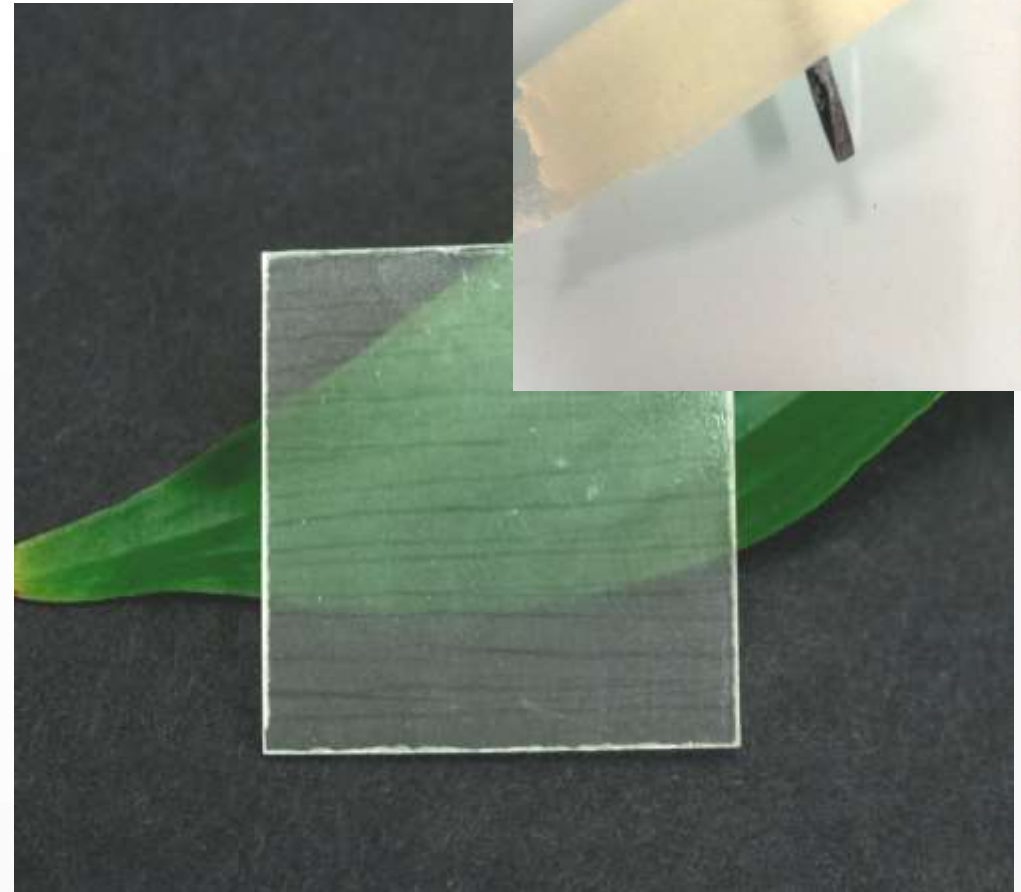
# Conclusion



*Image WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,  
Weinheim, CC BY*

# Conclusion

- Propriétés remarquables
- Viable écologiquement



*Image WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,  
Weinheim, CC BY*

# Conclusion

- Propriétés remarquables
- Viable écologiquement
- **Bonne base de recherche**

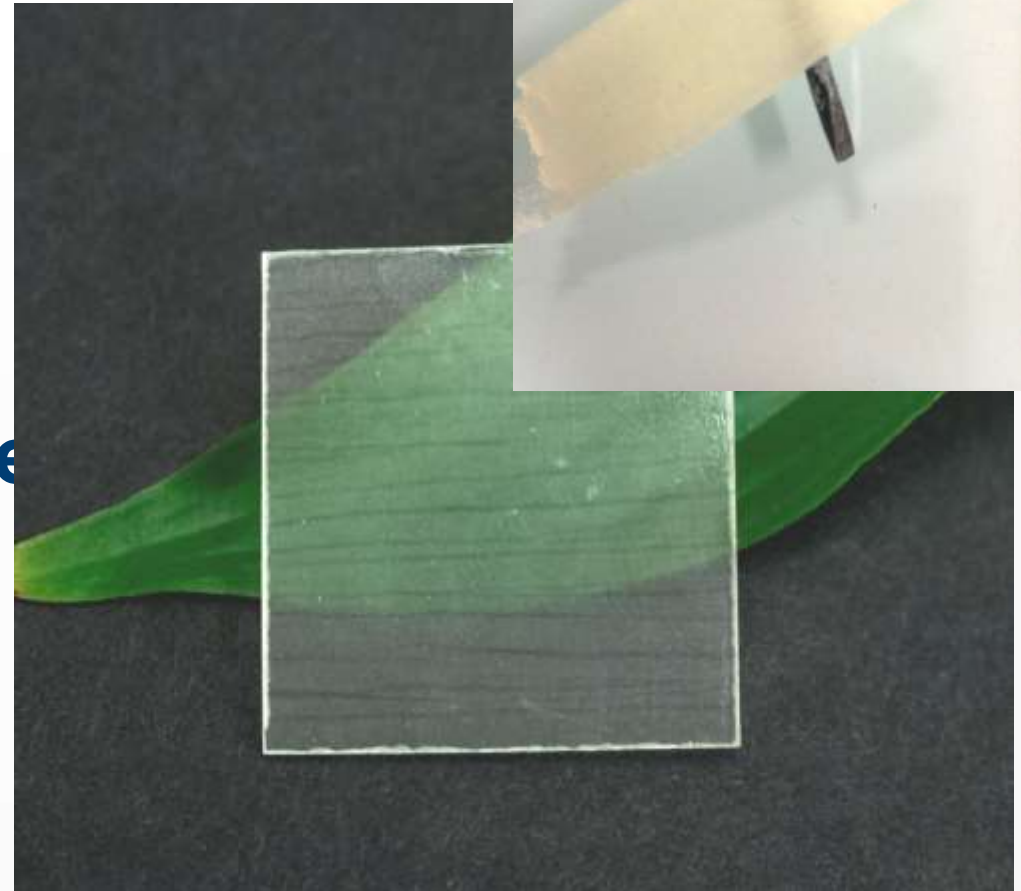


Image WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,  
Weinheim, CC BY



# Annexe - Autres recherches

- Fabrication de bois transparent à partir de broyat (MDF, aggloméré, etc.)
- Étude d'un procédé à l'échelle industrielle pour les résines et de sa viabilité écologique
- Étude du vieillissement et de l'altération du matériau « dehors » (intempéries, gel, etc.)
- Mesurer la diffusion optique du matériau



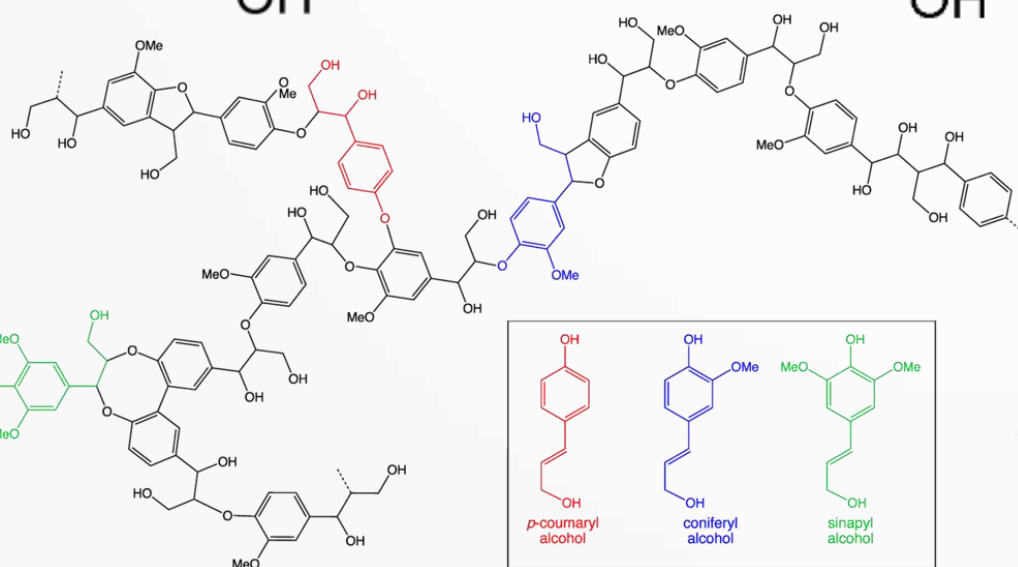
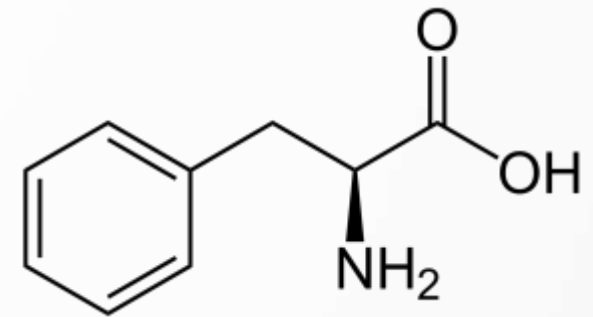
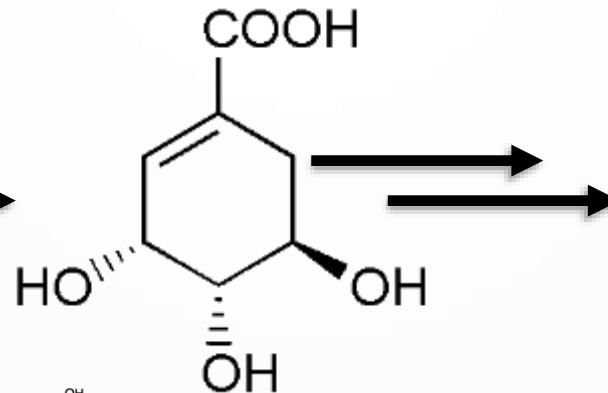
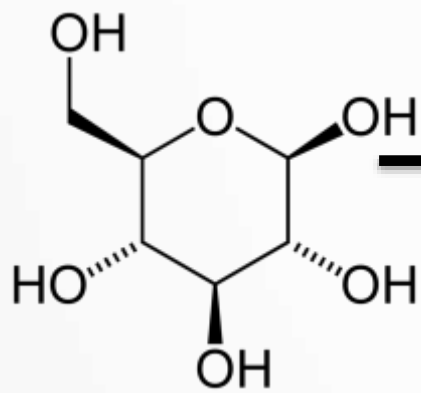


# Annexe - biosynthèse de la lignine

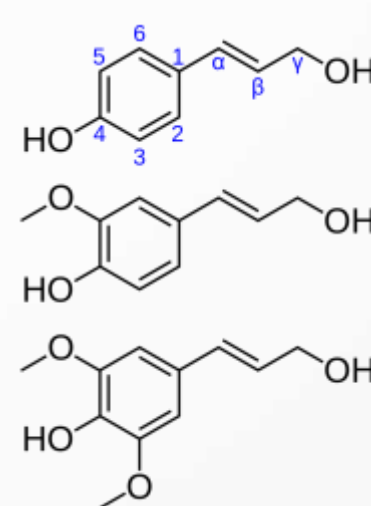
Glucose

Acide shikimique

Phénylalanine

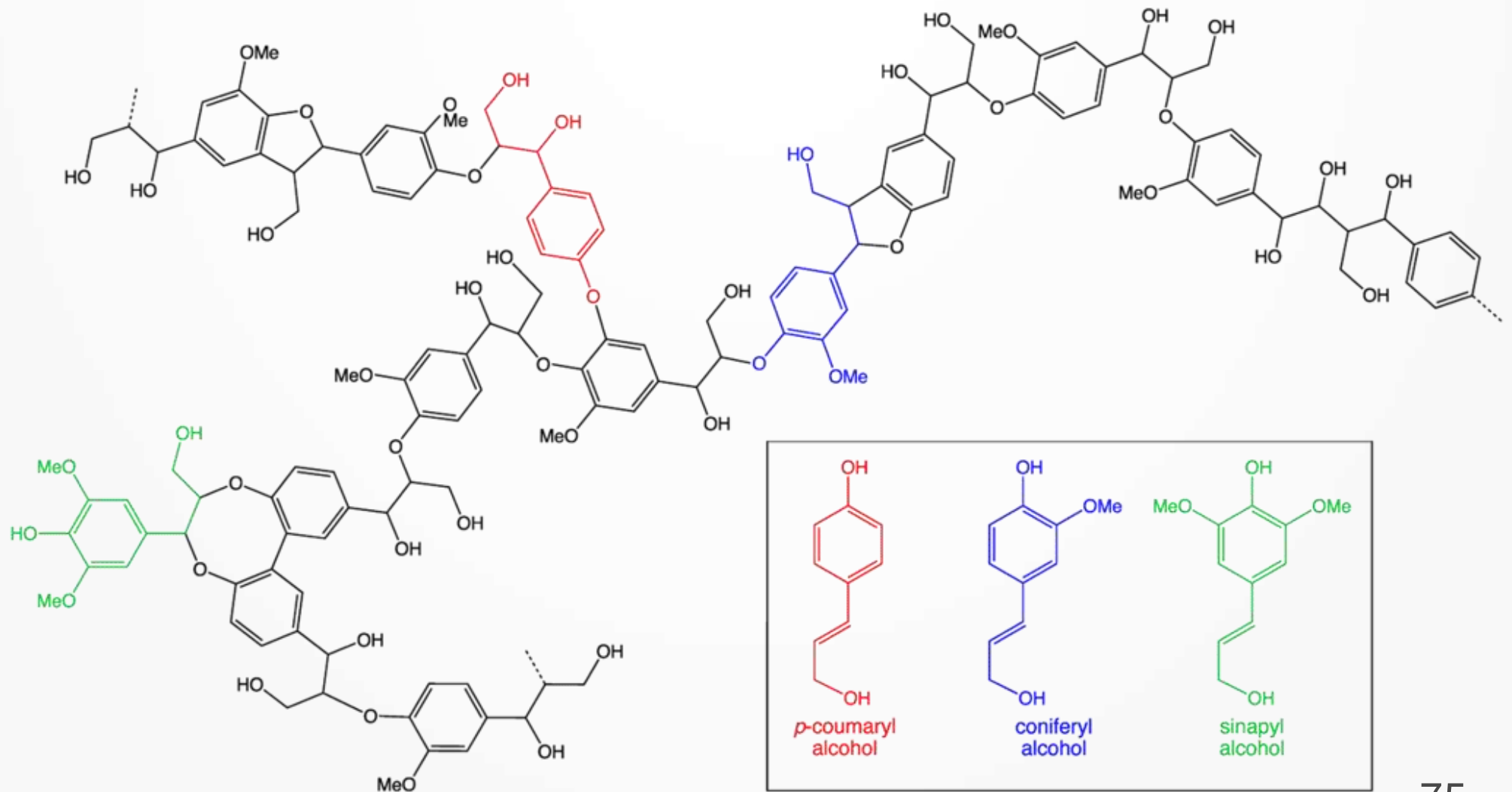


Lignine

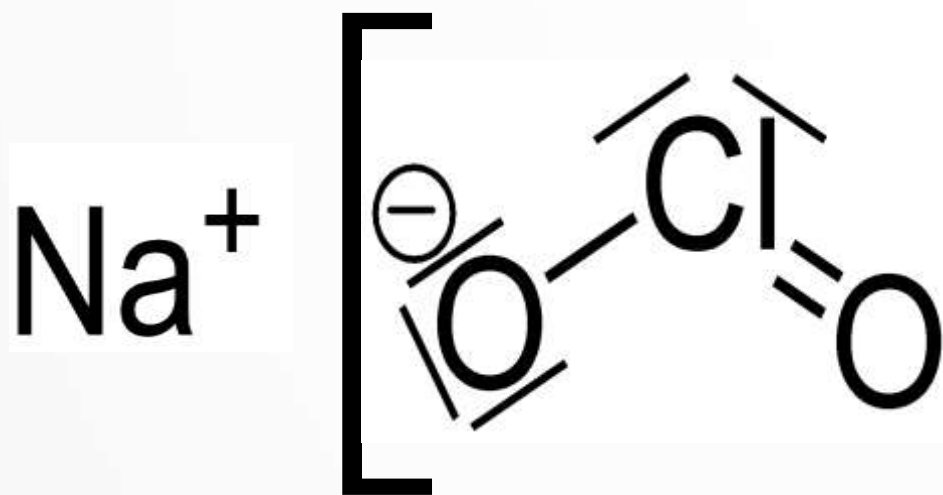


Monomères

# Annexe - forme de la lignine

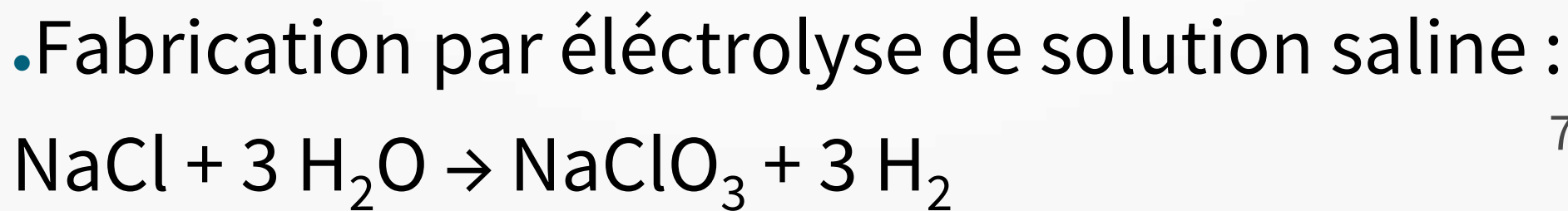
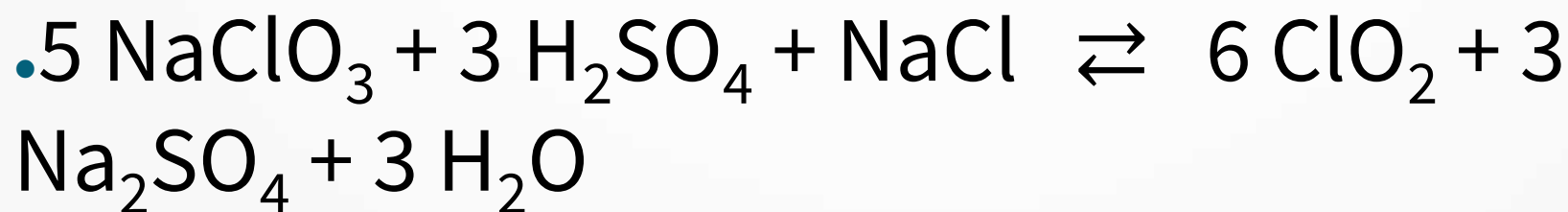
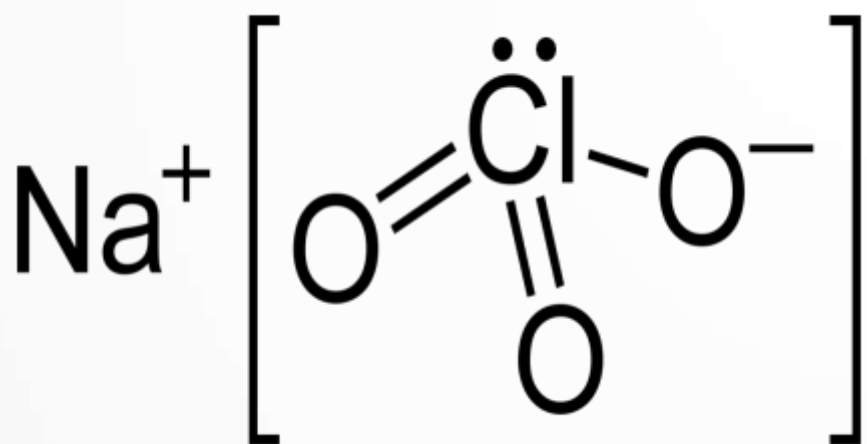


# Annexe — Procédé au Chlorite



- $4\text{NaClO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{ClO}_2 + \text{HCl} + \text{HClO}_3 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NaClO}_2 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{HClO}_2 \rightleftharpoons \text{ClO}_2$

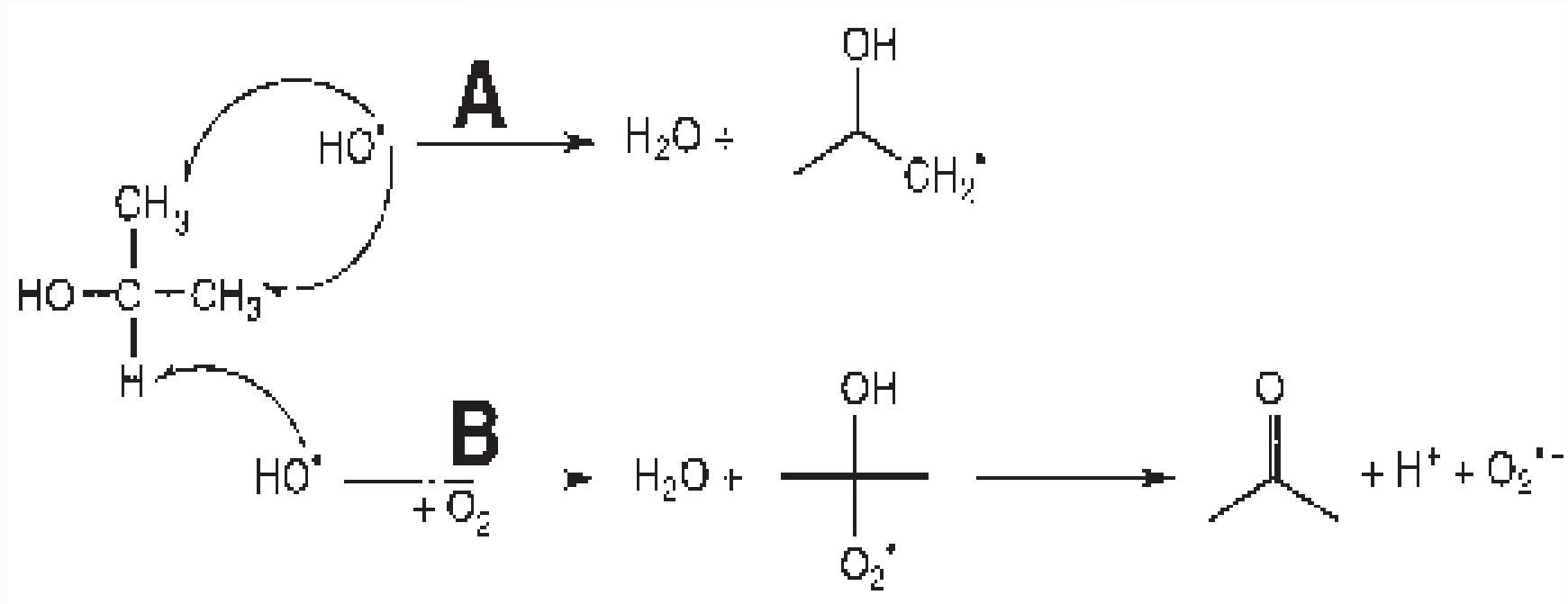
# Annexe — Procédé au Chlorate



# Annexe - Autres procédés pour $\text{ClO}_2$

- $2\text{NaClO}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{ClO}_2 + 2\text{NaCl}$
- $2\text{HClO}(\text{aq}) + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{NaClO}_2 + \text{NaOCl} + 2\text{HCl} \rightleftharpoons 2\text{ClO}_2 + 3\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
  
- $\text{HClO}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{HClO}_2 + \text{HClO}$
- $\text{HClO}_3 + \text{HClO}_2 \rightleftharpoons 2\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{HClO} + \text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$

# Annexe - production d'O<sub>2</sub>



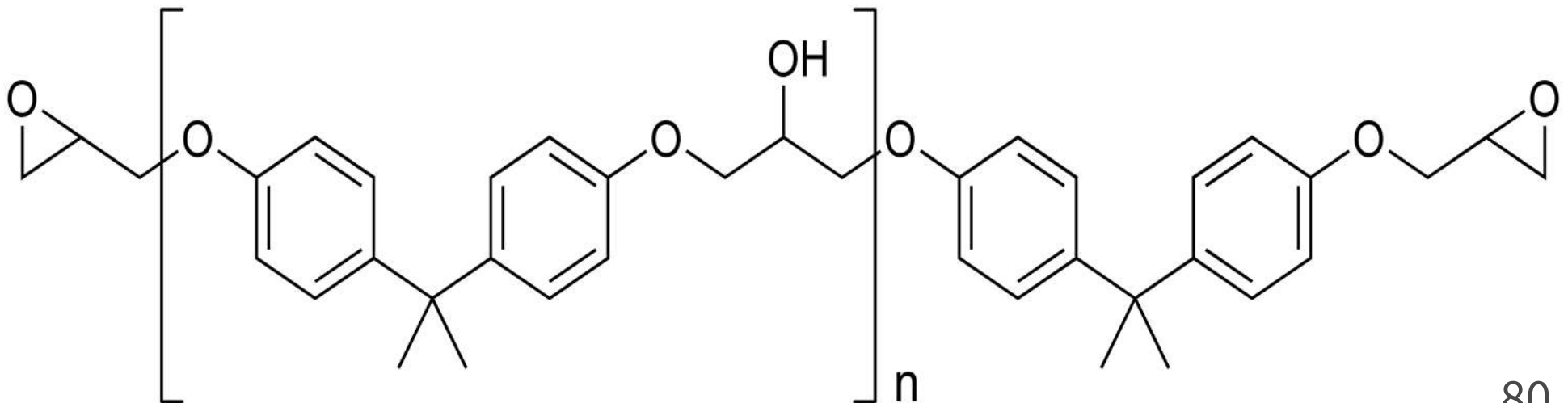


# Fabrication – Epoxydation

- Très solide
- Réaction rapide bicomposante
- Sensibles aux UV
- Peut être biosourcée

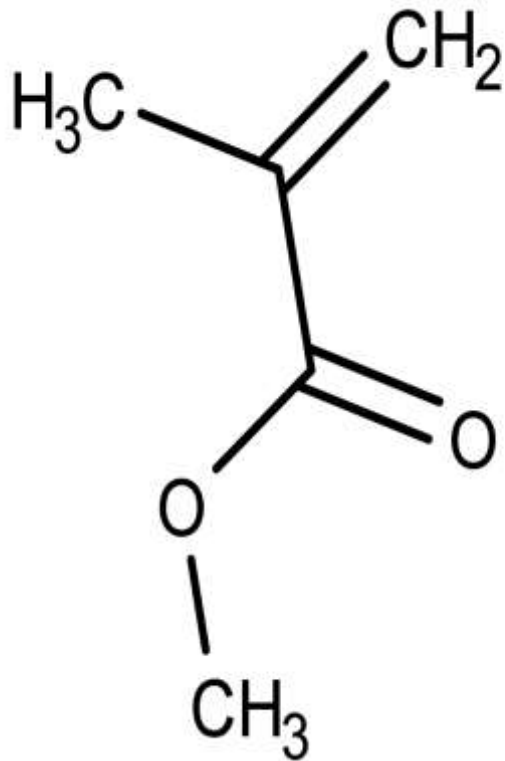


Image NileRed



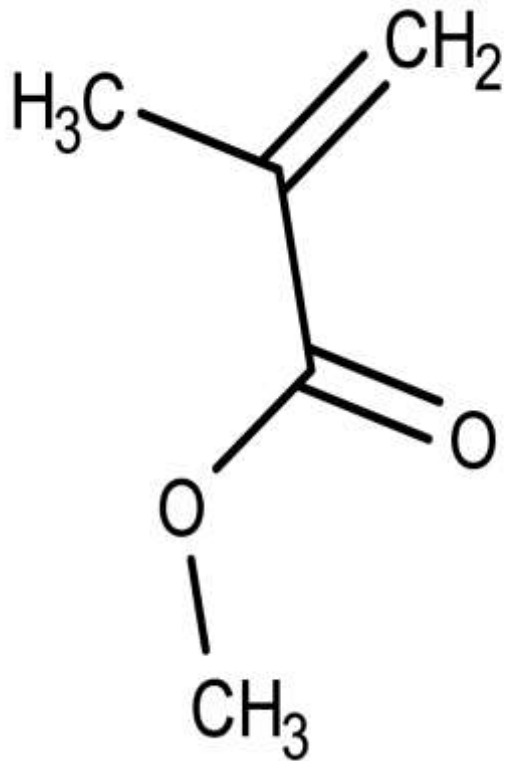
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Amorçage



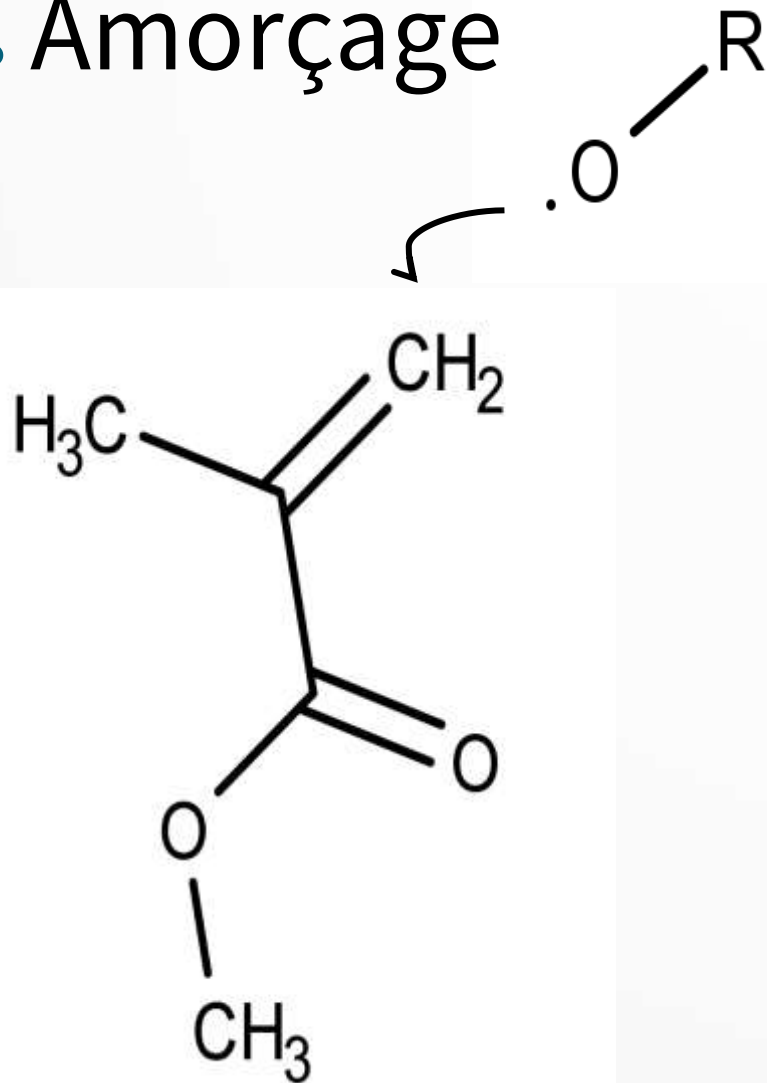
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Amorçage  $\cdot\text{O}-\text{R}$



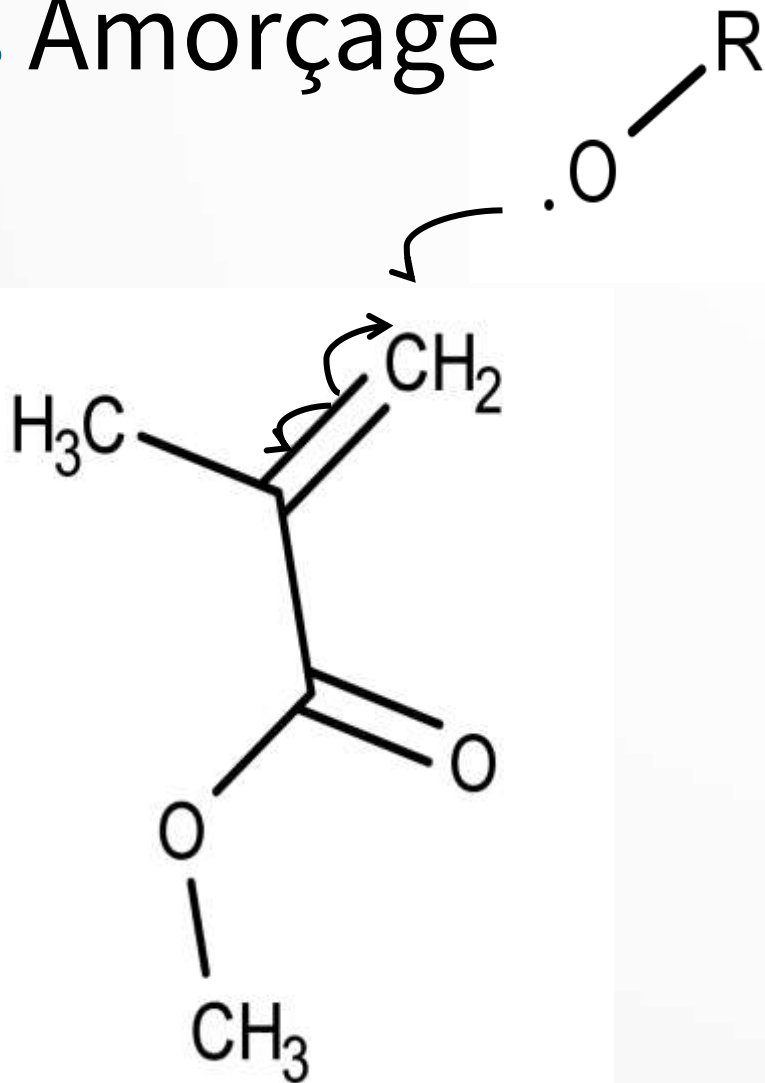
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Amorçage



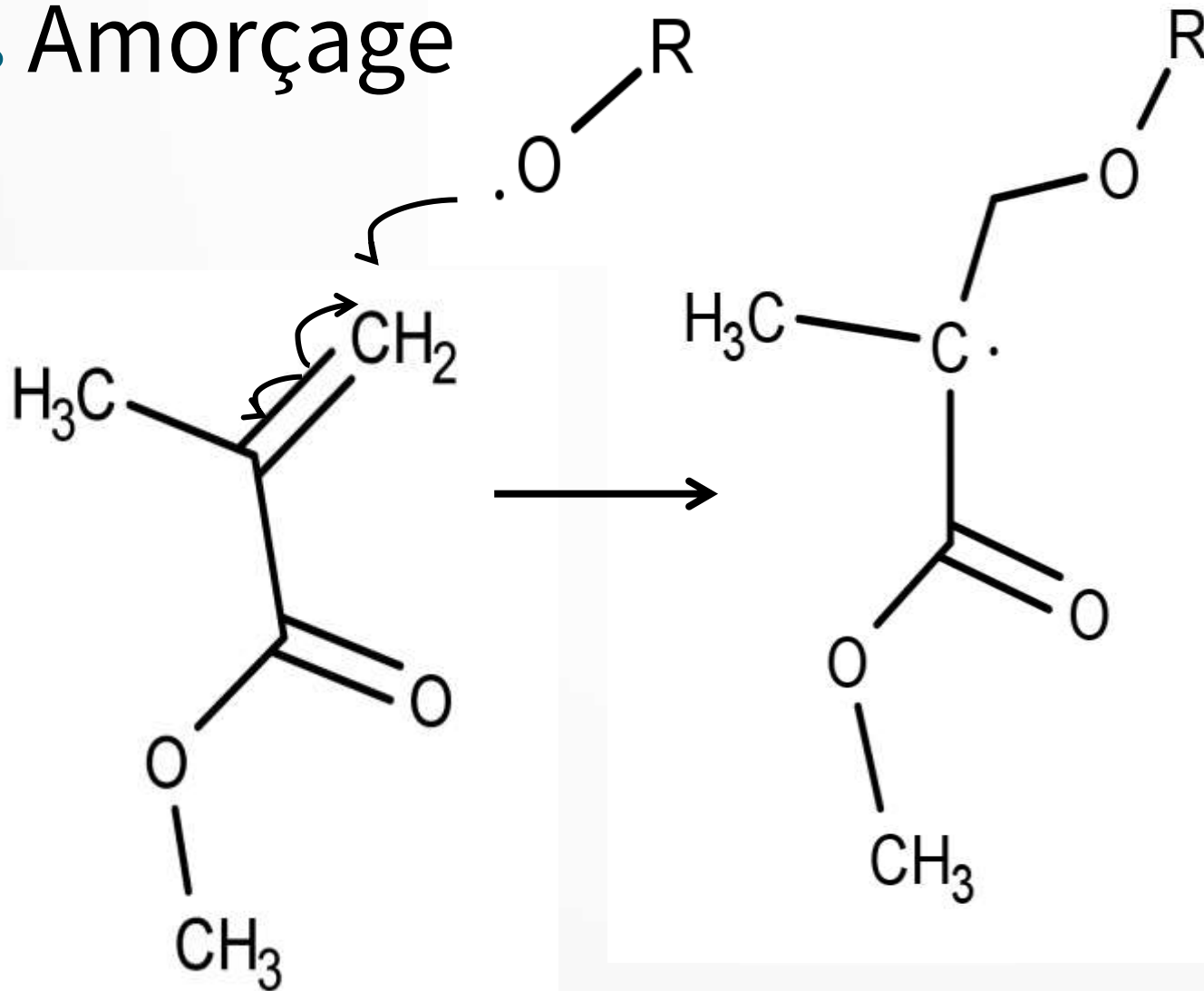
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Amorçage



# Fabrication – Polymérisation PMMA

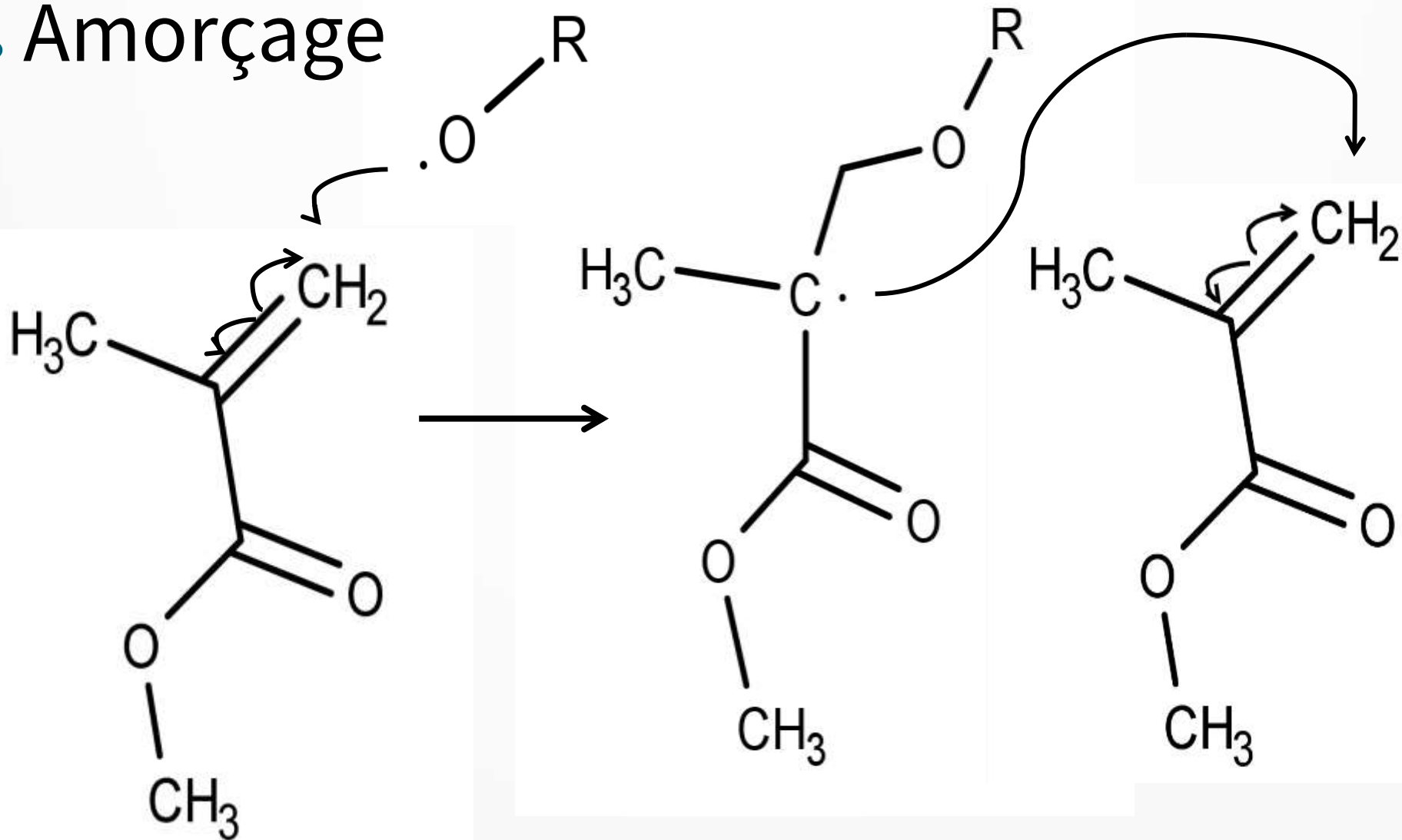
- Amorçage





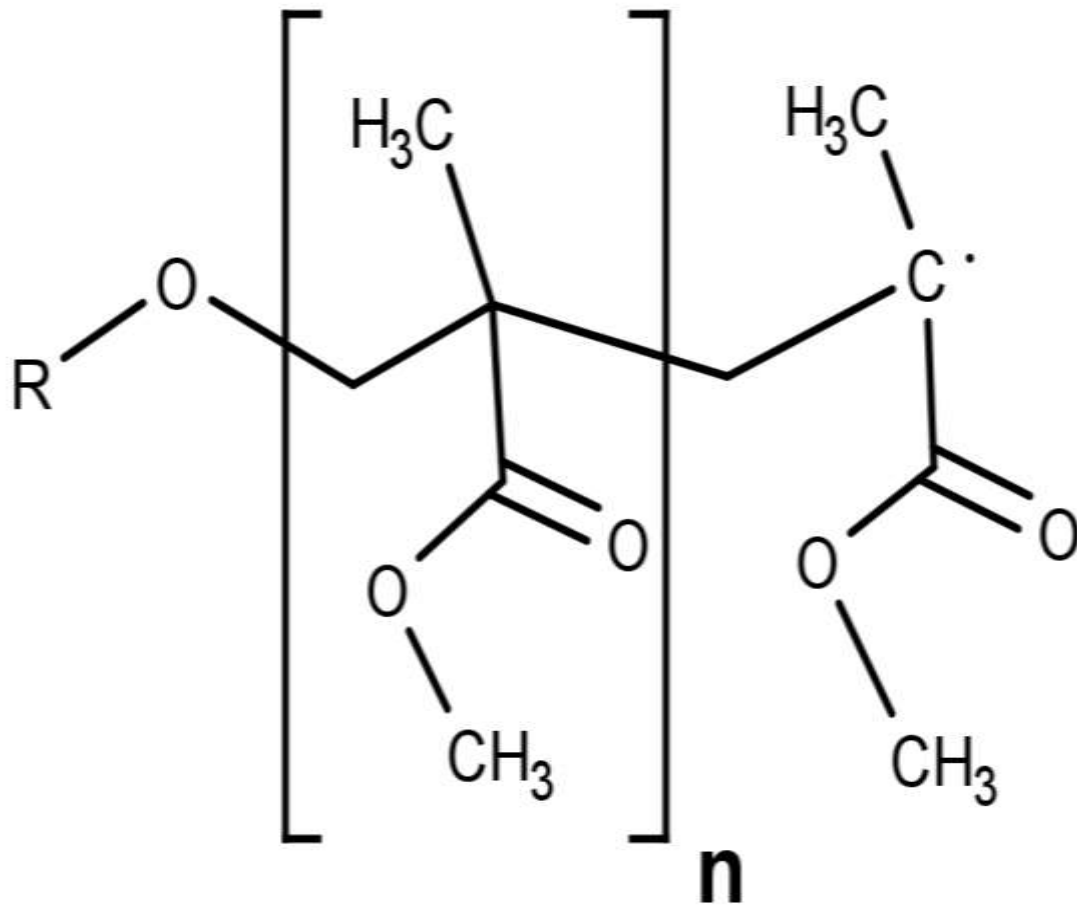
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Amorçage



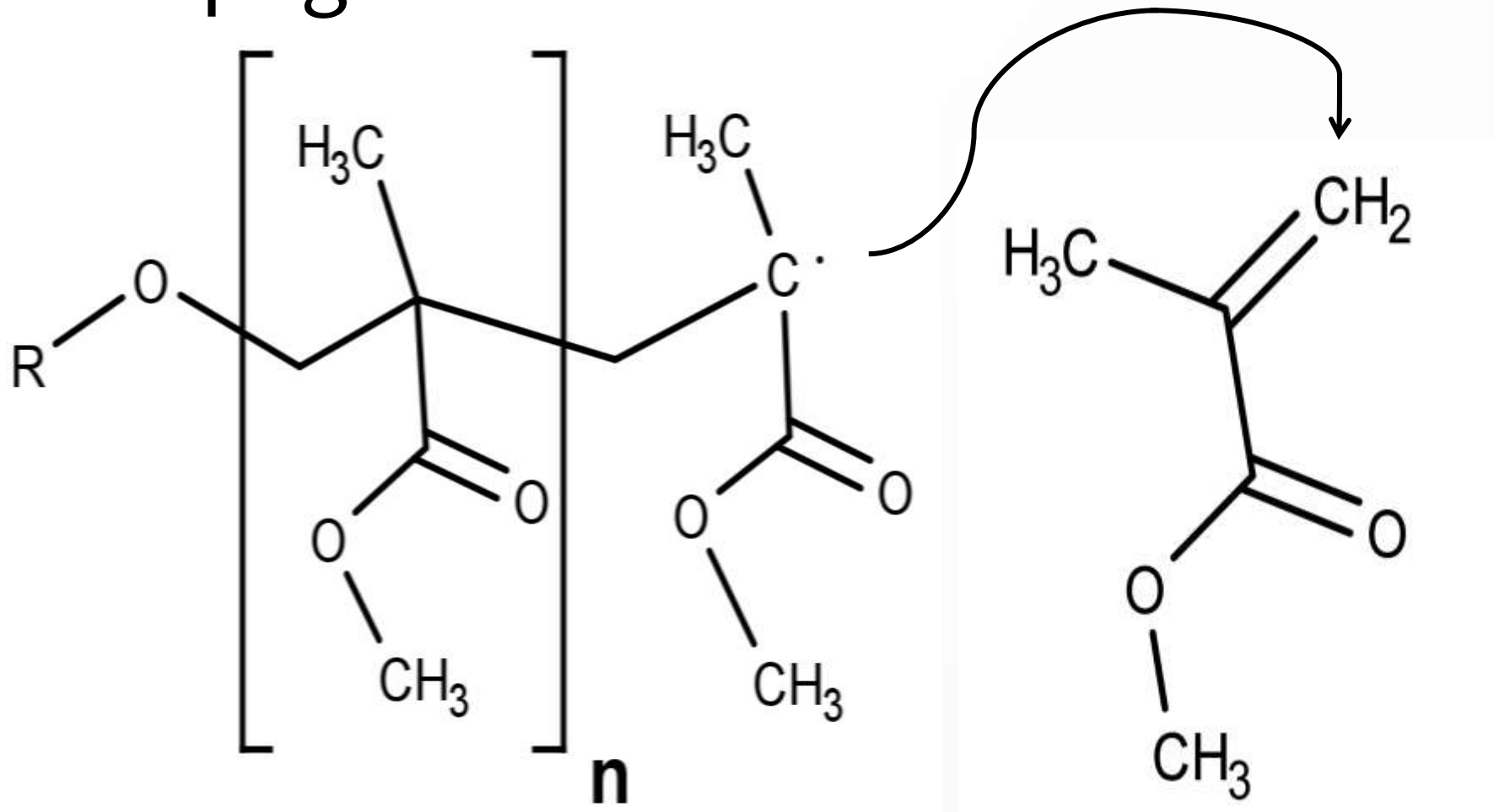
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Propagation



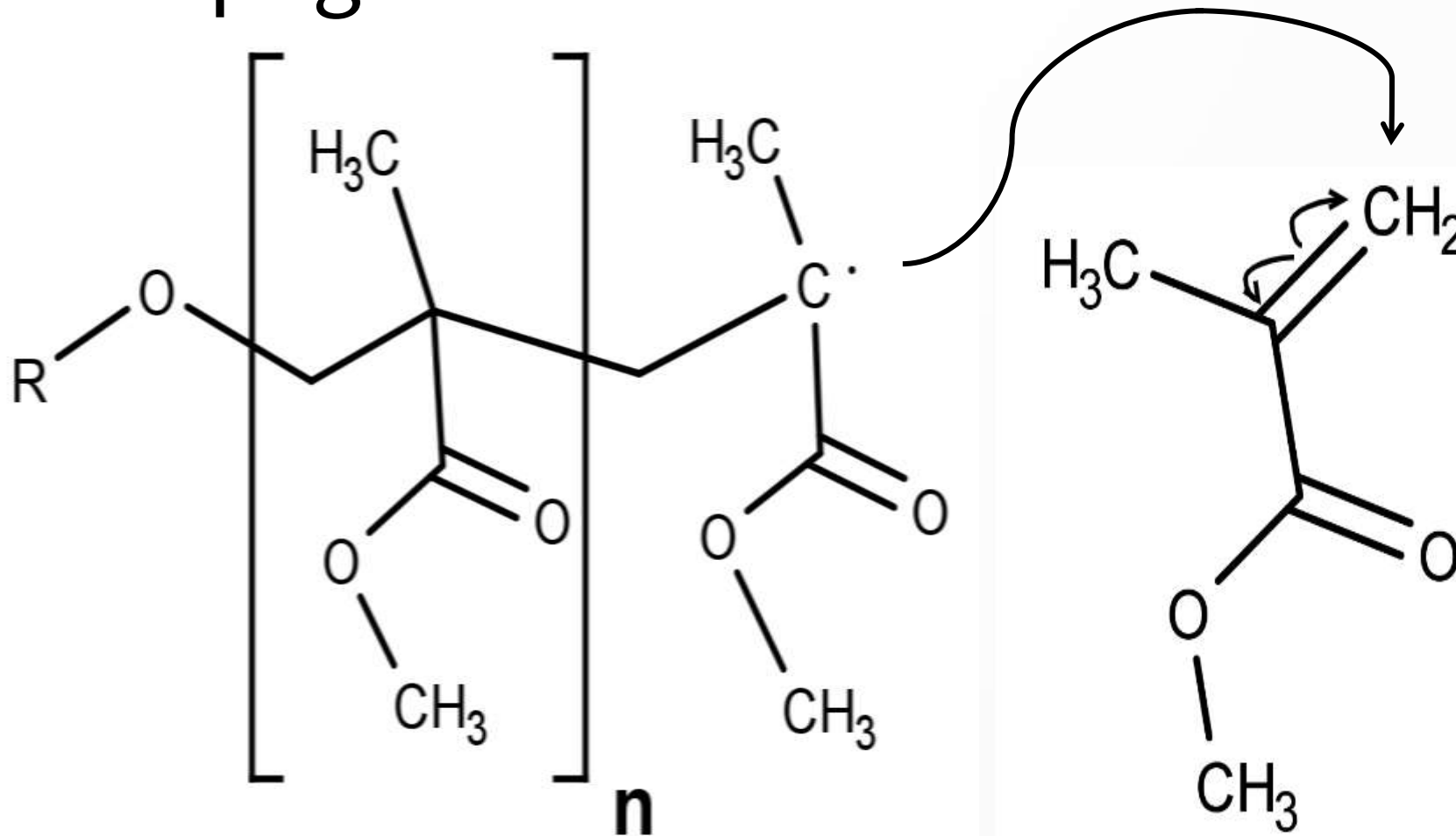
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Propagation



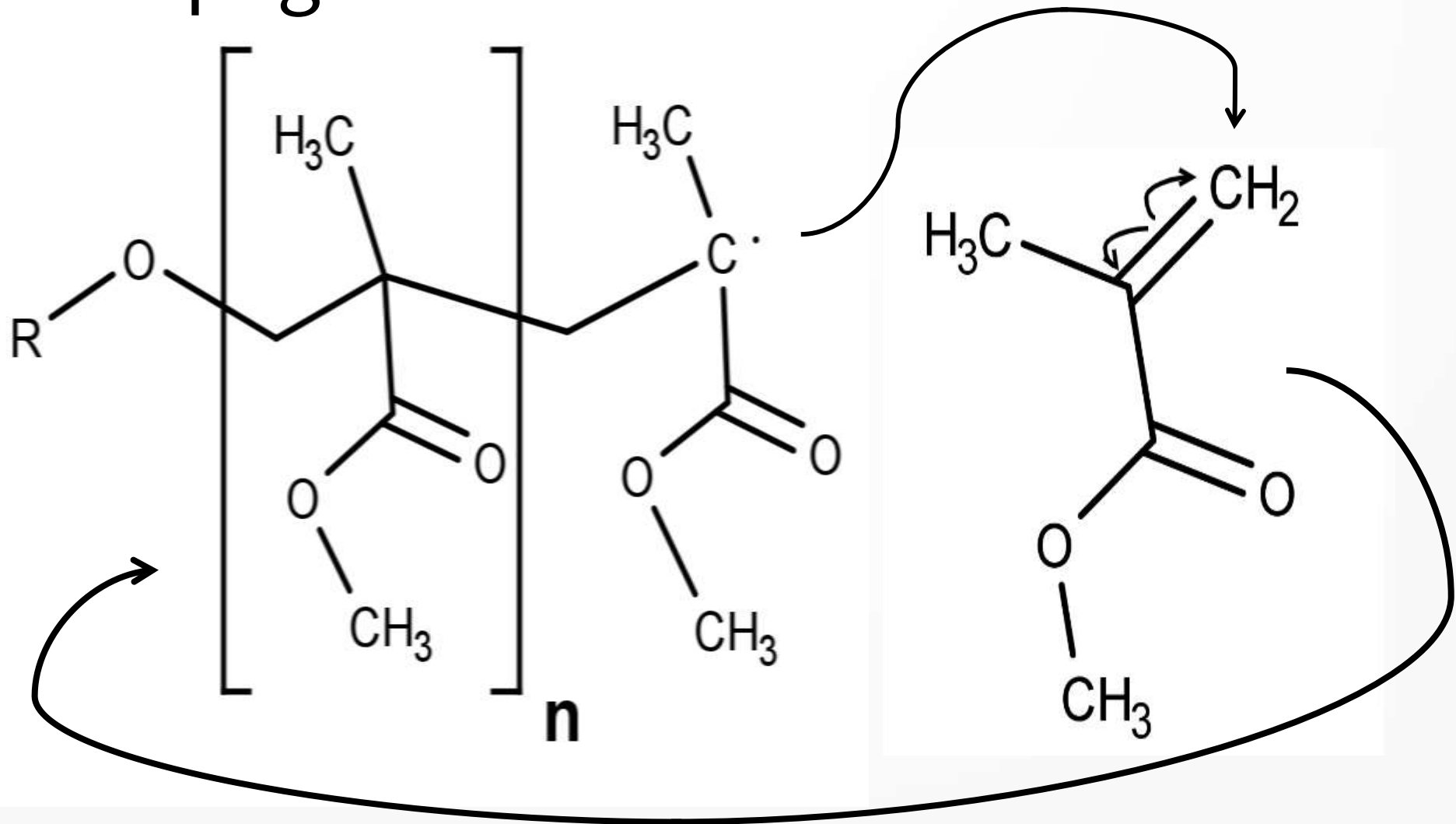
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Propagation



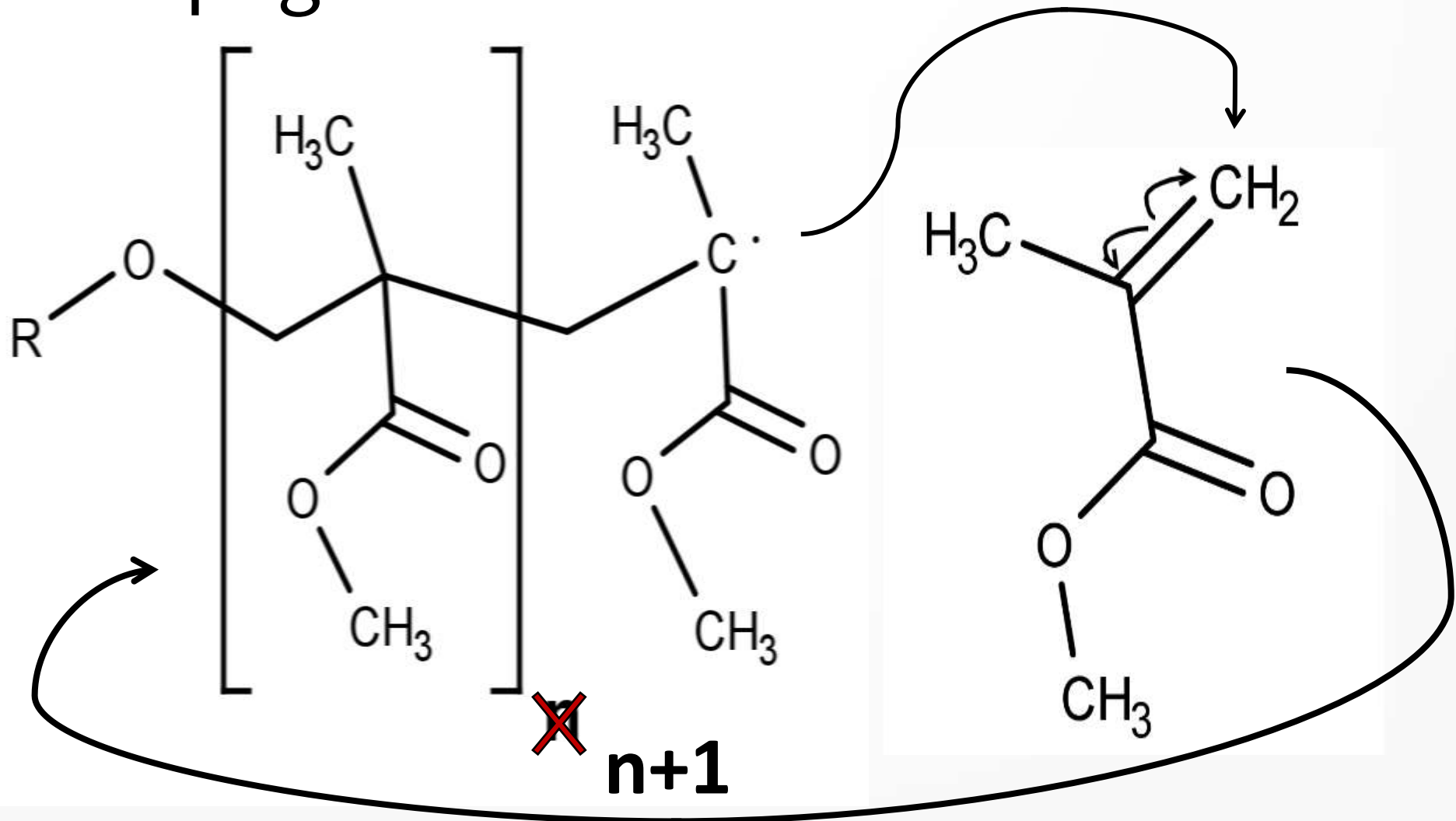
# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Propagation



# Fabrication – Polymérisation PMMA

- Propagation





# Annexe - Calculs thermiques

Notre résine, elle, a une conductivité de

$$\lambda_{epoxy} = 0,25W.m^{-1}.K^{-1}$$

Soit par approximation la résistance thermique totale de notre bois une fois traité :

$$\lambda_{bois} = 0,039W.m^{-1}.K^{-1} * 0,8 + 0,25W.m^{-1}.K^{-1} * 0,2$$

$$\lambda_{bois} = 0,081W.m^{-1}.K^{-1}$$

Pour comparer, je sais qu'un double vitrage classique a un coefficient de transfert thermique  $U_w = 1.5$  soit une résistance thermique surfacique d'environ  $r_{th} = 0,67m^2.K.W^{-1}$ , sachant que la surface de référence est, selon les normes, de  $1.48m * 1.45m$  que nous arrondirons à  $2m^2$ .

$$\text{Comme } R_{th} = \frac{r_{th}}{S} \text{ alors } R_{th} = \frac{0,67m^2.K.W^{-1}}{2m^2} = 0,34K.W^{-1}$$

Alors qu'en est-il de notre bois transparent ?

$$\text{On sait que } R_{th} = \frac{e}{S*\lambda} \text{ soit } \frac{0,024m}{2m^2*0,25W.m^{-1}.K^{-1}} = 0,148K.W^{-1}$$

```
[1]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib.legend_handler import HandlerLine2D
```

```
[2]: def charge(x):
    data = np.loadtxt(x, dtype="str", delimiter=';')
    data = np.char.replace(data, ',', '.')
    data = np.array(data, dtype="float")
    return data
```

```
[11]: charge("PMMA_commerce.csv")
```

```
[11]: array([[3.000000e+02, 1.423807e-01],
            [3.001000e+02, 1.433586e-01],
            [3.002000e+02, 1.443398e-01],
            ...,
            [9.834000e+02, 1.000000e+02],
            [9.896000e+02, 1.000000e+02],
            [9.967000e+02, 1.000000e+02]])
```

```
[12]: def update_prop(handle, orig):
    handle.update_from(orig)
    handle.set_marker("o")
```

```
[112]: def plotter(L):
    plt.figure()
    plt.xlabel("Longueur d'onde (nm)")
    plt.ylabel("Transmittance (%)")
    for x in L:
        data = charge(x)
        label = np.char.replace(np.char.replace(x, "_", " "), ".csv", "")
        plt.plot(data[:,0], data[:,1], "o", label=label)
    plt.legend(handler_map={plt.Line2D:
        HandlerLine2D(update_func=update_prop)}, bbox_to_anchor=(0.6, 0.18))
    plt.savefig('joligraphique.pdf', dpi=1000)
    plt.show()
```

```
[113]: plotter(["Bois_non_traité.csv", "Bois_délignifié.csv", "PMMA_commerce.  
↪csv", "PMMA_synthétisé.csv", "Bois_transparent.csv"])
```

