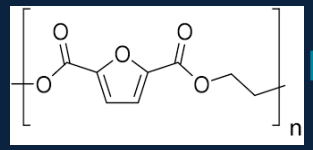
Institut Mines-Télécom

APTITUDE AU FORMAGE DE BOUTEILLES : CAS D'UN POLYMÈRE BIOSOURCÉ, LE PEF

CHRISTELLE COMBEAUD, EMILIE FORESTIER, NOELLE BILLON, CEMEF MINES PARISTECH

Canne à sucre - Fructose

PEF



Bouteilles en PEF

IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire École Mines-Télécom
IMT Lille Douai École Mines-Télécom IMT-Université de Lille
IMT Mines Albi-Carmaux École Mines-Télécom
IMT Mines Alès École Mines-Télécom
Institut Mines-Télécom Business School
MINES Saint-Étienne Une école de l'IMT
TELECOM ParisTech Une école de l'IMT
TELECOM SudParis Une école de l'IMT
EURECOM
InSIC
MINES ParisTech
MINESnancy
ensiie
ARMINES
CARNOT pour l'innovation des entreprises

PET polymère indétrônable dans le milieu de l'emballage alimentaire

Formabilité intéressante (design, structure)

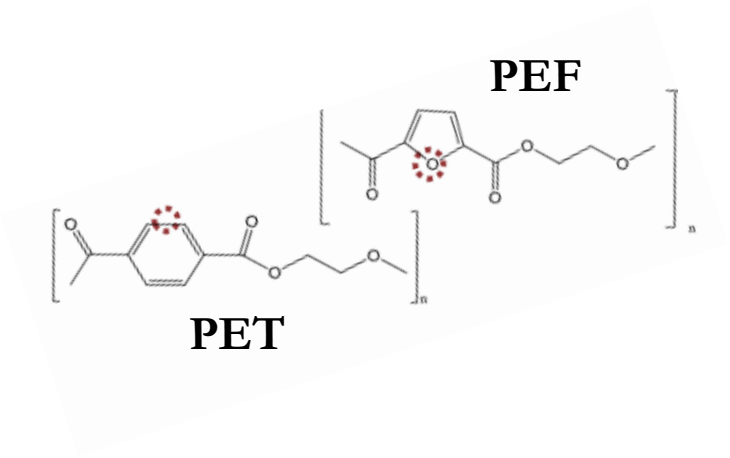
Etirabilité et Développement de microstructure

Bonnes propriétés mécaniques

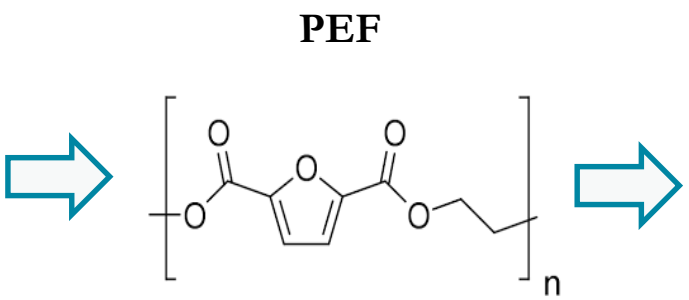
Transparence

Bonnes propriétés barrière
Compatibilité alimentaire

Alternative biosourcée au PET : le PEF ?



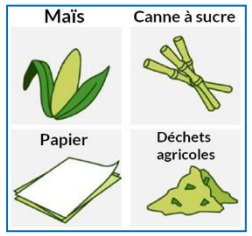
Canne à sucre - Fructose



Bouteilles en PEF

Un consortium

avantium



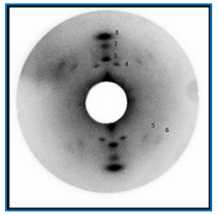
Synthèse PEF

Sidel

Soufflage PEF

Cemef
CENTRE DE MISE EN FORME DES MATERIAUX

MINES ParisTech



Analyse thermo-mécanique et microstructurale PEF

Institut de Chimie de Nice

Université Nice Sophia Antipolis

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. SYNTHESE ET ARCHITECTURE DE CHAINE

2. FORMABILITE AU DESSUS DE Tg

3. DEVELOPPEMENT MICROSTRUCTURAL

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

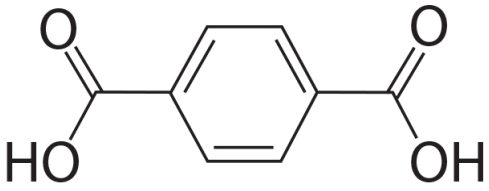
Institut Mines-Télécom

1. SYNTHÈSE ET ARCHITECTURE DE CHAINE

Institut Mines-Télécom

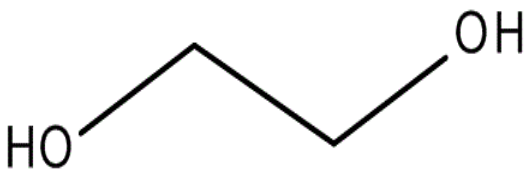
Alternative biosourcée au PET : le PEF ?

Pétrole



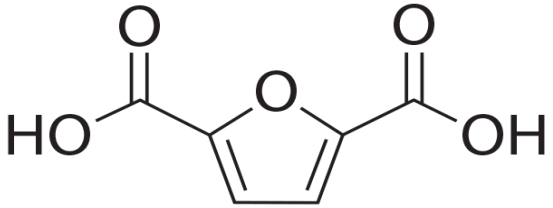
Acide Téréphtalique

Sucre



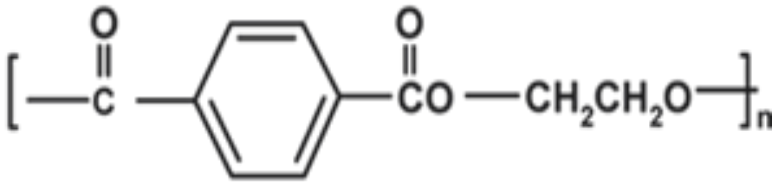
Ethylène glycol

Biomasse



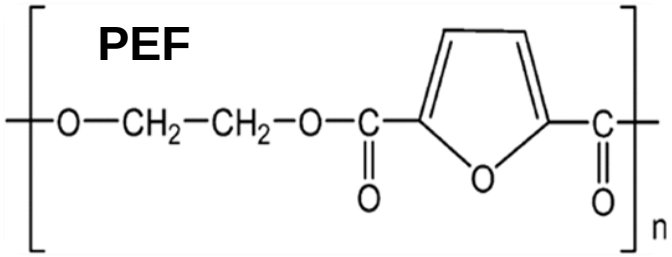
Acide Furan Dicarboxylique

PET



PET 30 % biosourcé

PEF



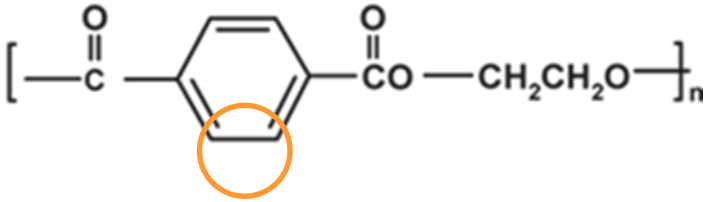
PEF 100 % biosourcé

Alternative biosourcée au PET : le PEF ?

▪ Comparaison des polyesters PET / PEF

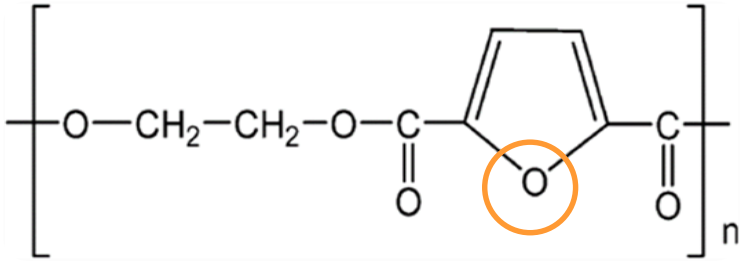
Poly(ethylène terephtalate)

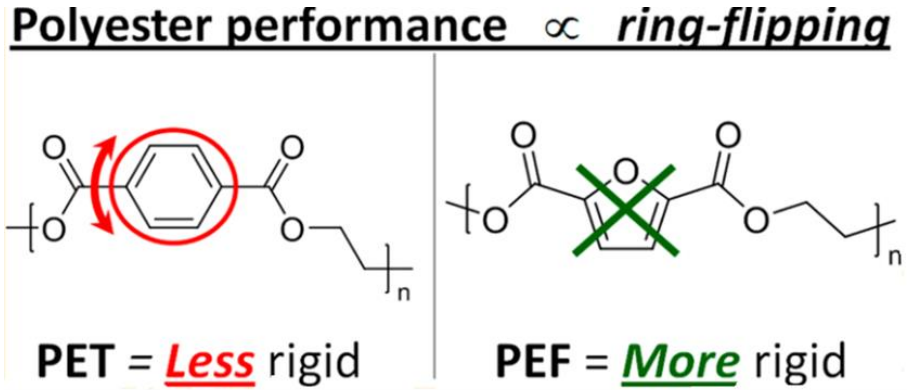
PET



Poly(ethylène 2,5-furandicarboxylate)

PEF





Burgess and al.Macromolecules.2014;47:1383-91

PET et PEF très proches chimiquement

2. FORMABILITÉ AU DESSUS DE T_G

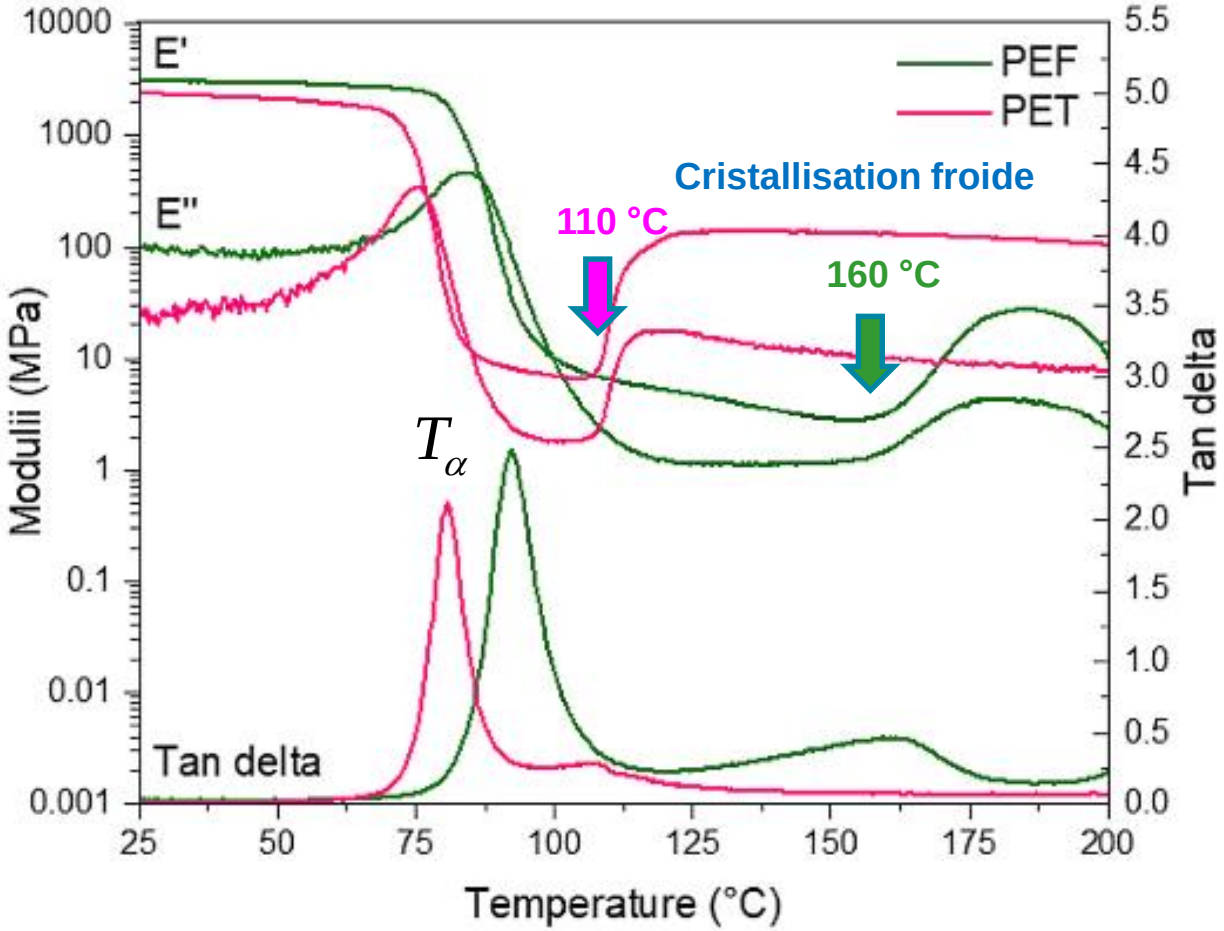
Institut Mines-Télécom

Matériaux de l'étude

- **PEF fourni par Synvina et PET grade « bouteille » Indorama**
- **Films extrudés équi- épais ; Epaisseur de 700 µm**
- **Films mécaniquement isotrope**
- **Matériaux trempés, pris dans un état amorphe**

Propriétés viscoélastiques et Relaxation principale

D.M.T.A. Mode traction
T°C [25 ; 210 °C]
f = 1 Hz
1°C/min
ε_0 = 0,1 %

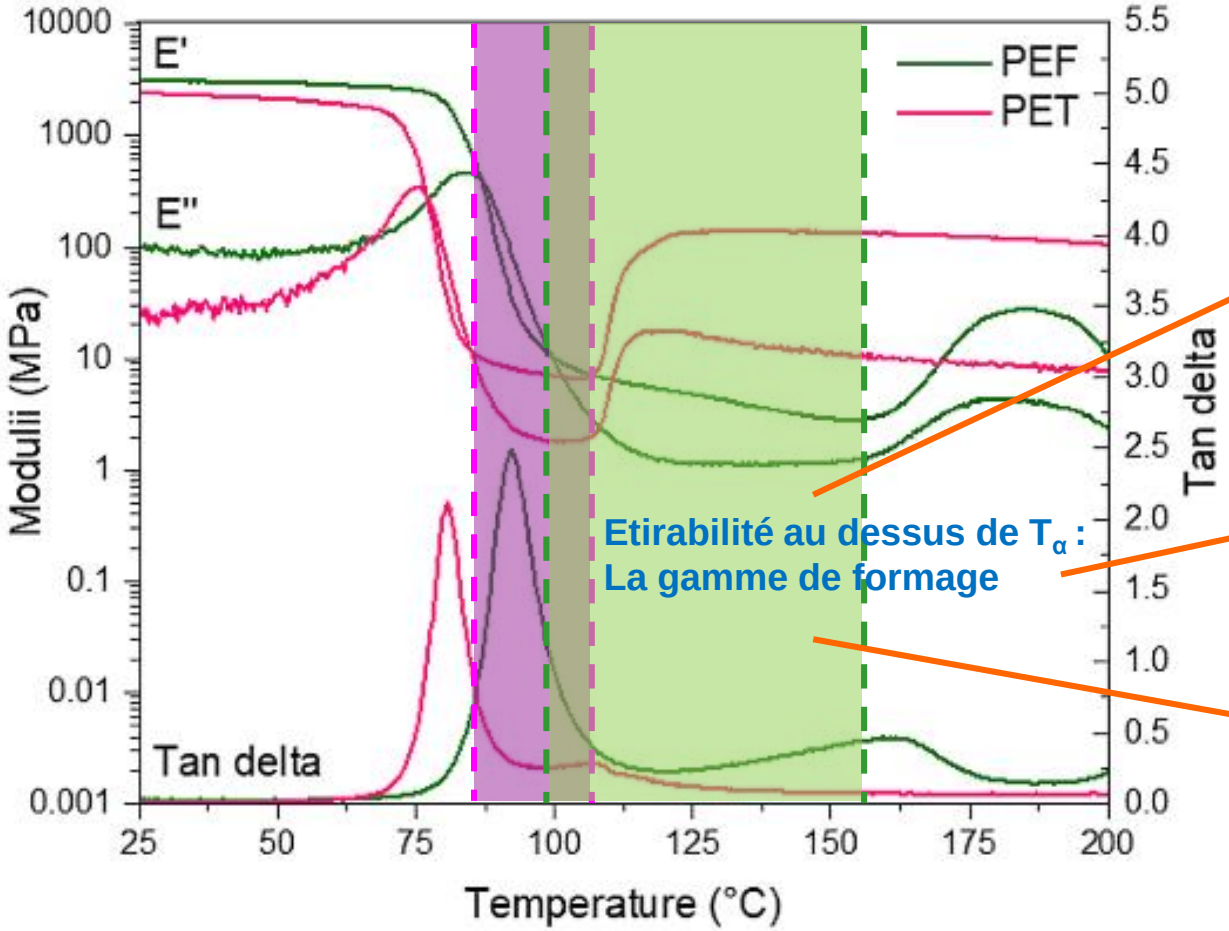


T_α PET (1 Hz) = 80 °C

T_α PEF (1 Hz) = 92 °C

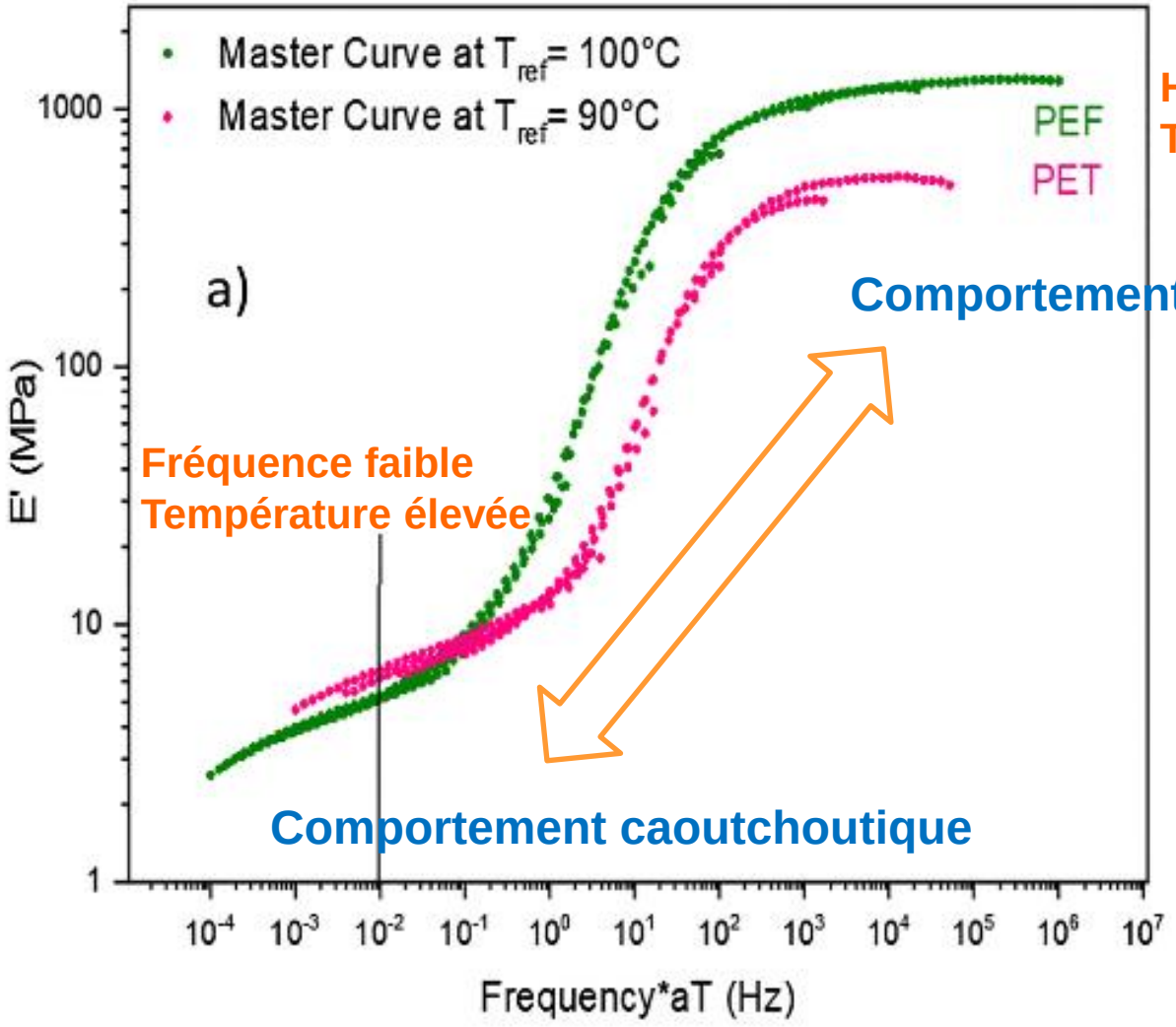
Propriétés viscoélastiques et Relaxation principale

D.M.T.A. Mode traction
T°C [25 ; 210 °C]
f = 1 Hz
1°C/min
ε_0 = 0,1 %

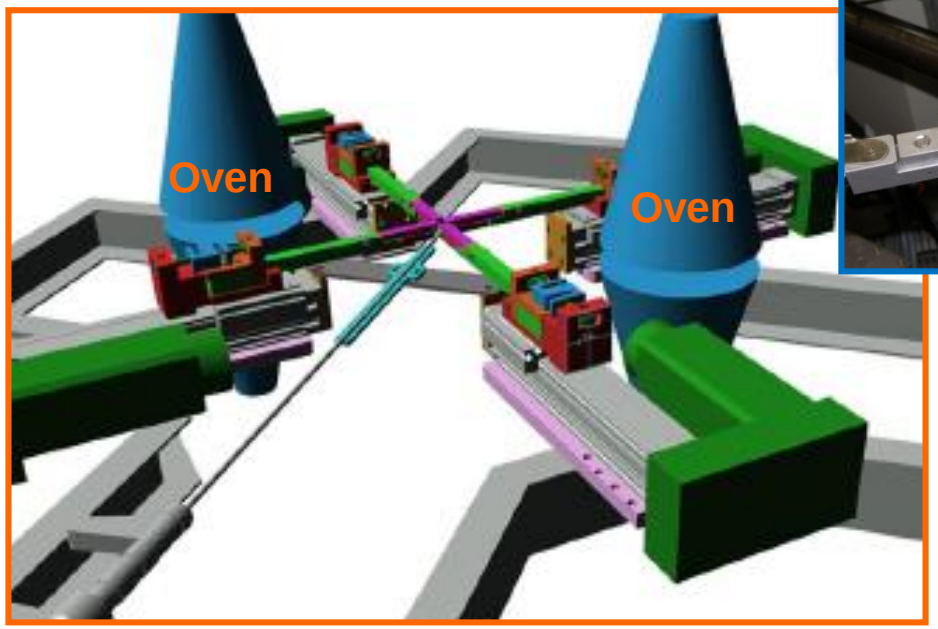


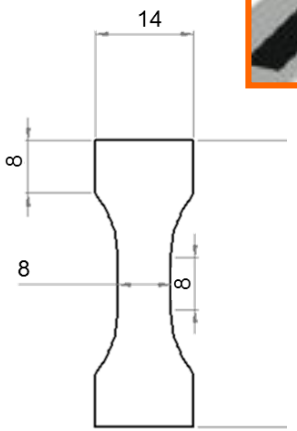
Double sensibilité (Température / Fréquence de sollicitation)

D.M.T.A. Mode traction
f [0,1 ; 100 Hz]
ε_0 = 0,1 %



Comportement mécanique aux grandes déformations

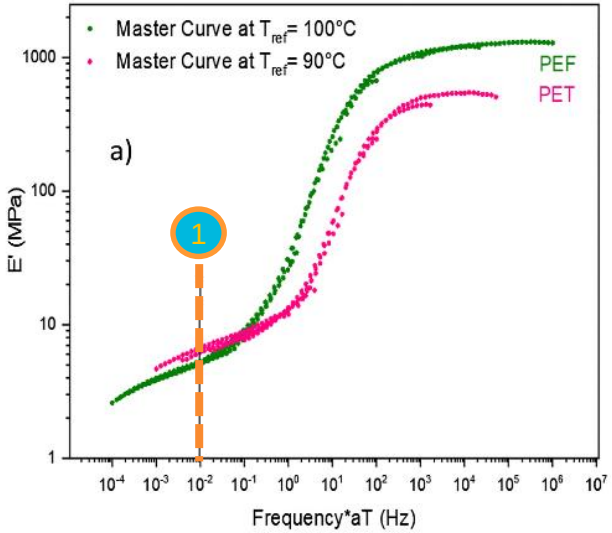




$(T\ °C\ ;\ \dot{\varepsilon})$

1 $10^{-2}\ s^{-1}$

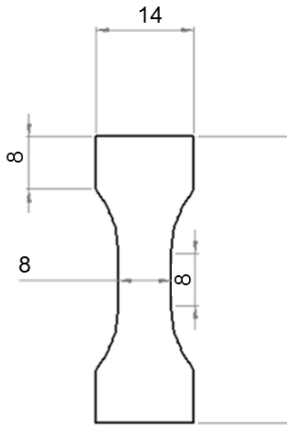
PET (94 °C ; 0,05 s^{-1})
PEF (105 °C ; 0,07 s^{-1})

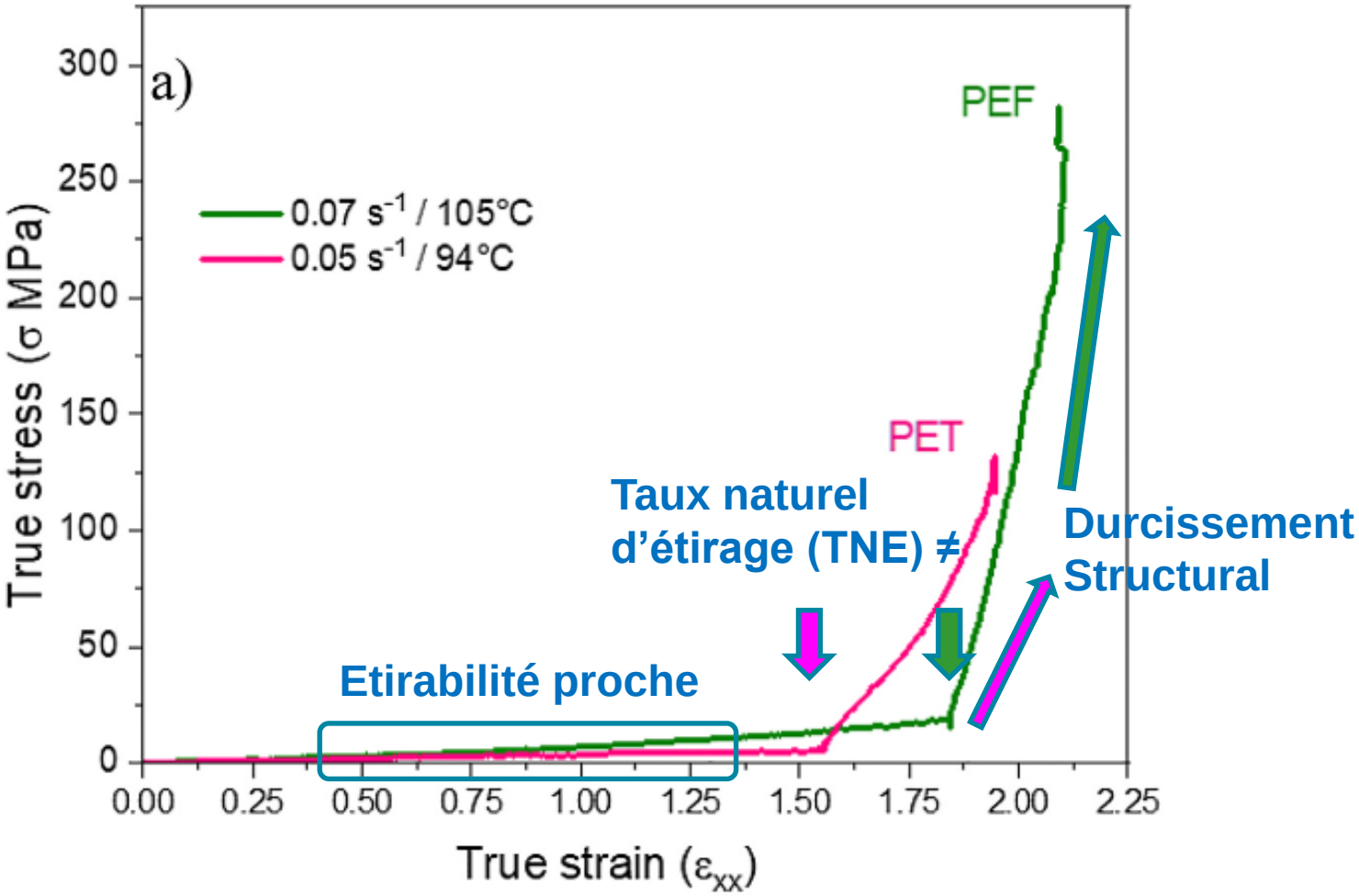


Comportement mécanique aux grandes déformations

$(T\ °C\ ;\ \dot{\varepsilon})$

PET (94 °C ; 0,05 s^{-1})
PEF (105 °C ; 0,07 s^{-1})

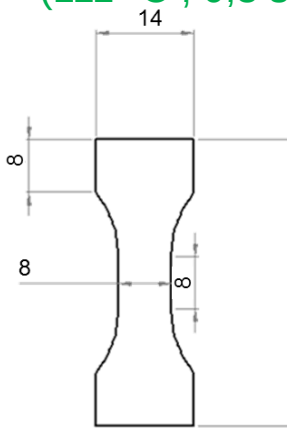


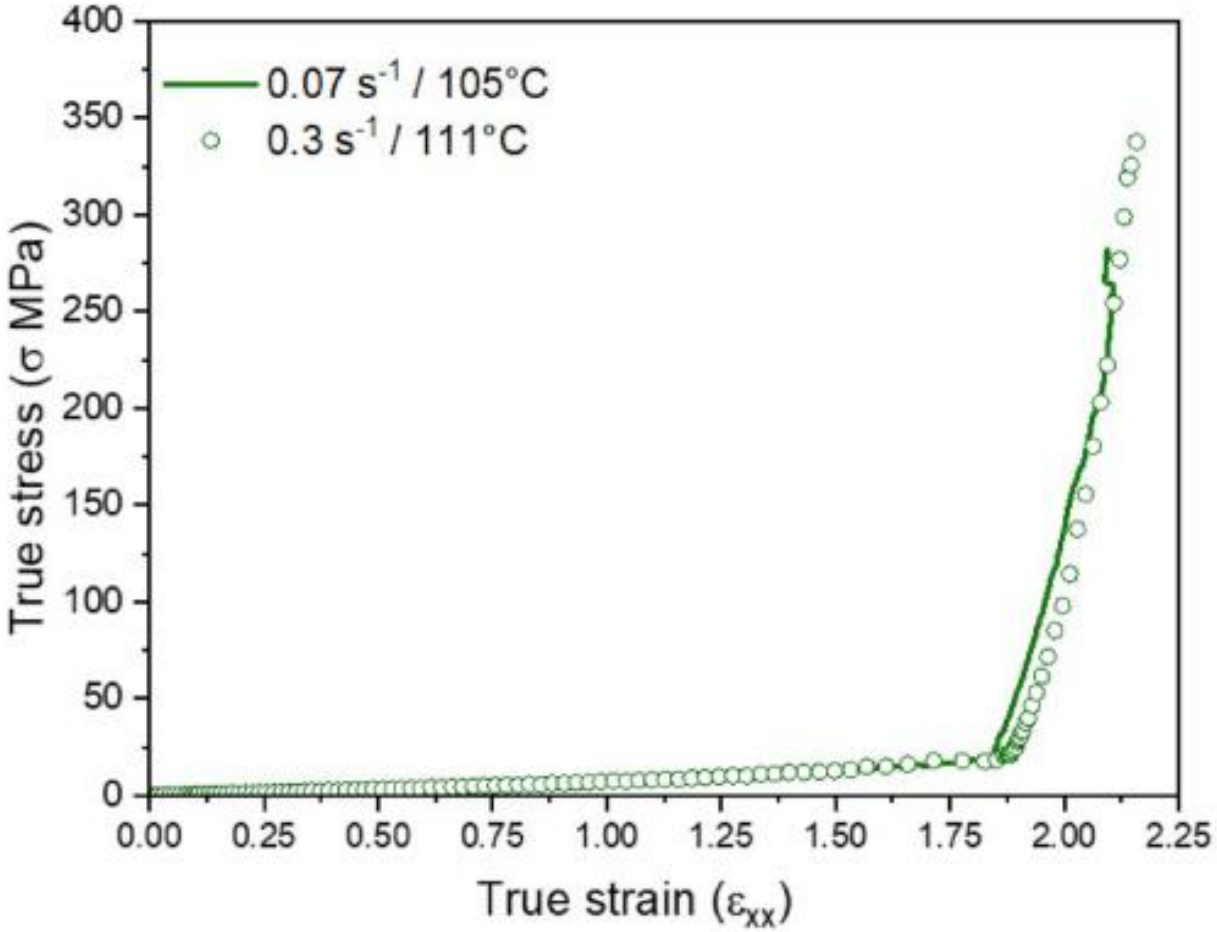


Comportement mécanique aux grandes déformations

$(T\ °C\ ;\ \dot{\varepsilon})$

PET (94 °C ; 0,05 s^{-1})
PEF (105 °C ; 0,07 s^{-1})
(111 °C ; 0,3 s^{-1})

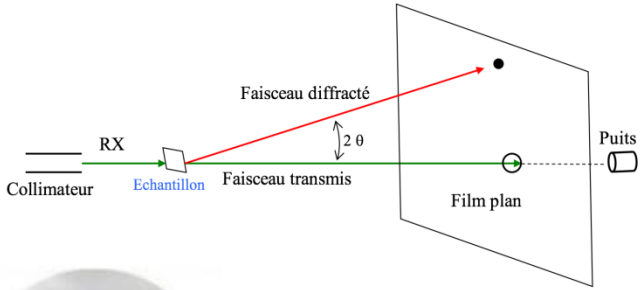


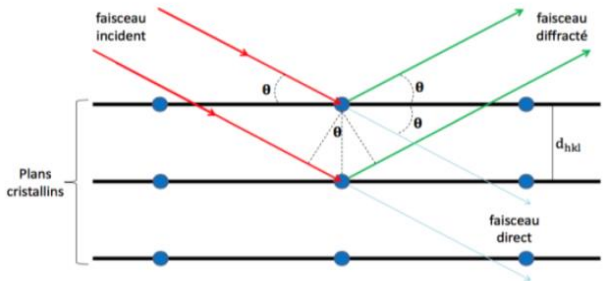


3. DÉVELOPPEMENT MICROSTRUCTURAL

Institut Mines-Télécom

Scénario de développement cristallisation induite





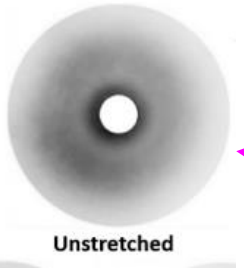
Bragg's law

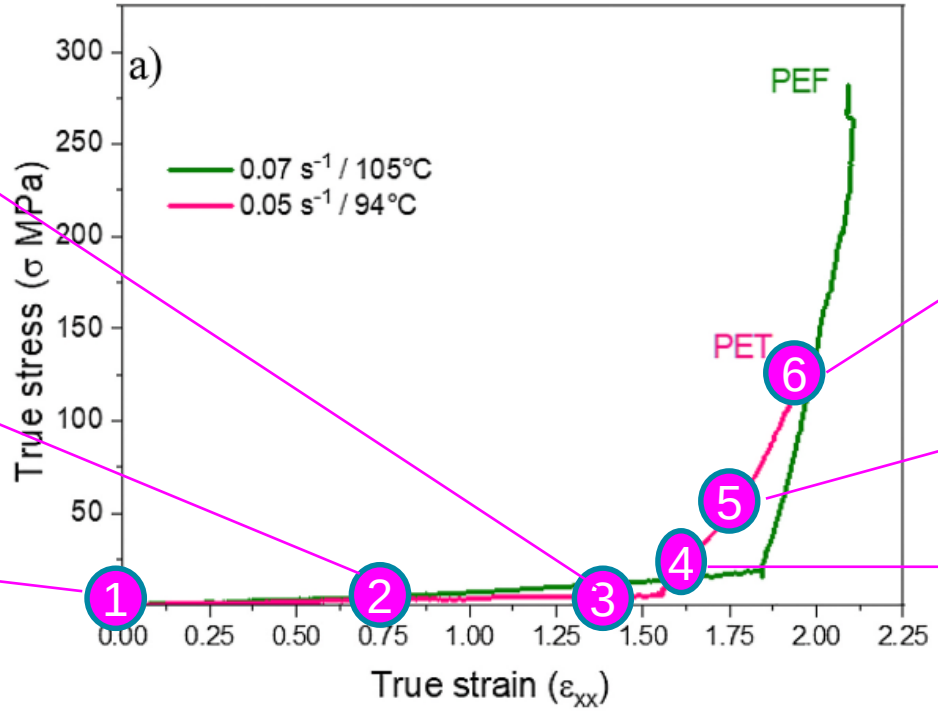
$$2d_{hkl}sin\theta = n\lambda$$

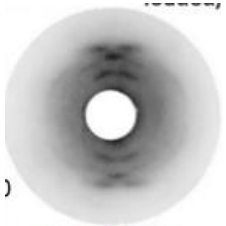
DT

DM

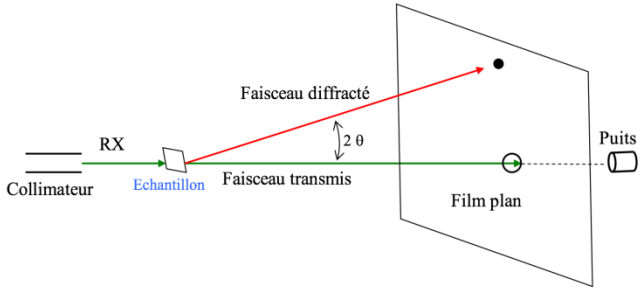
Direction étirage

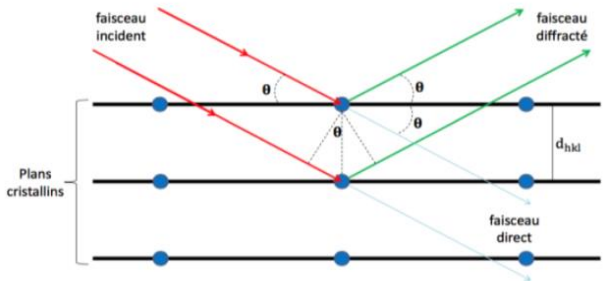






Scénario de développement cristallisation induite





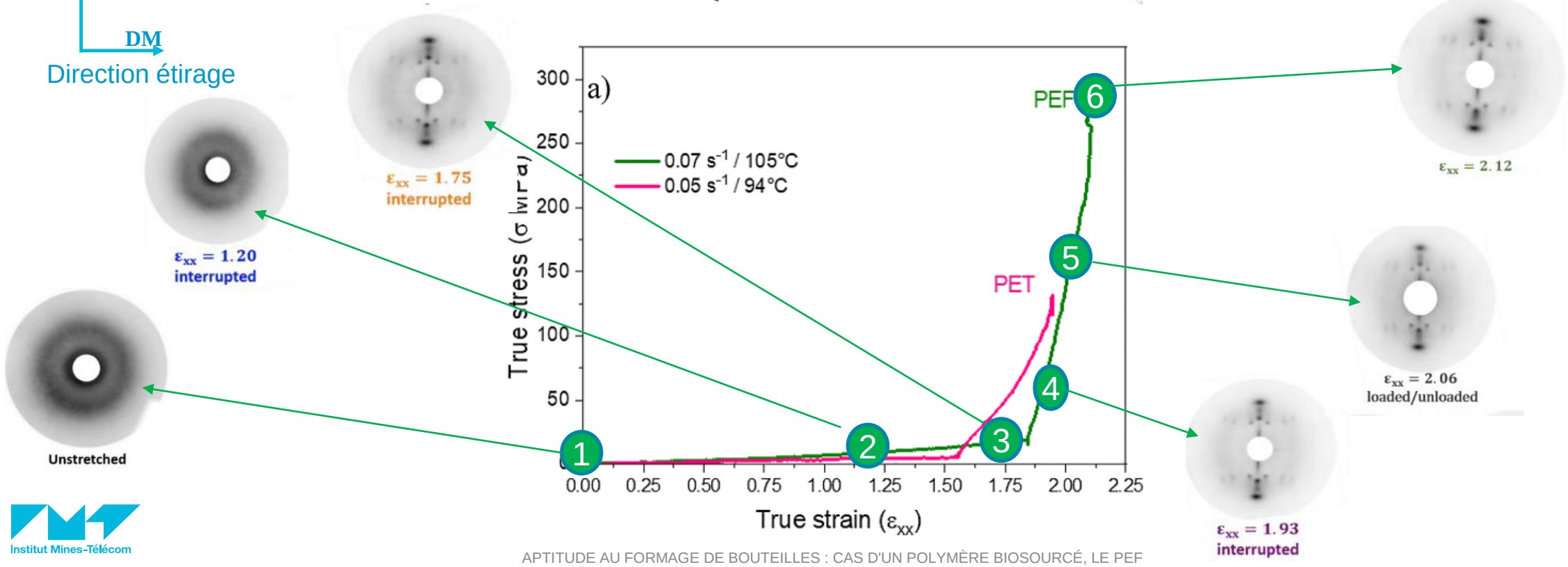
Bragg's law

$$2d_{hkl}sin\theta = n\lambda$$

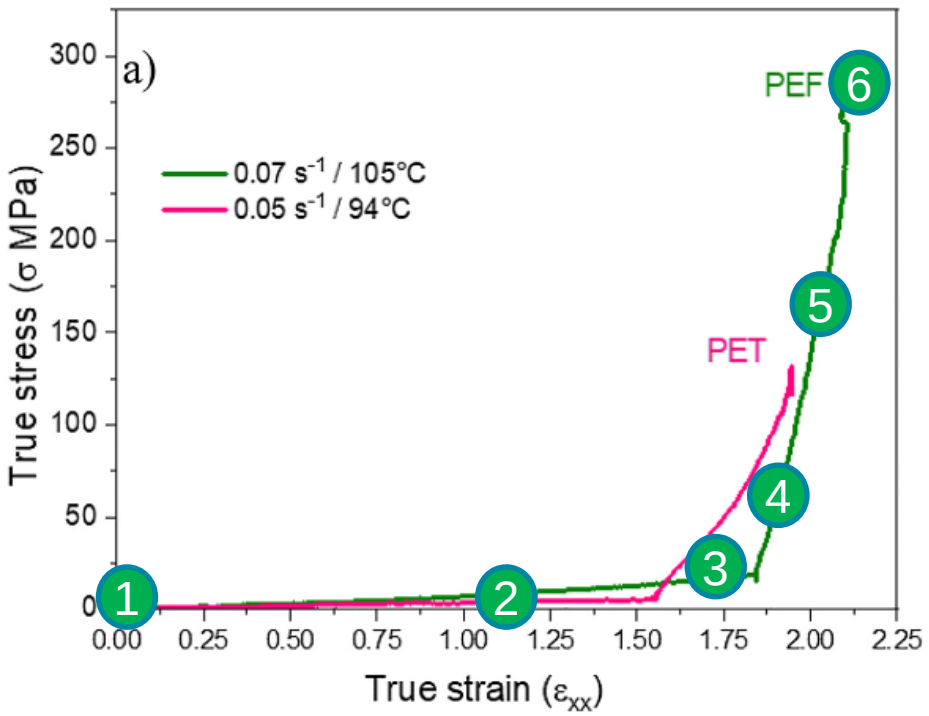
DT

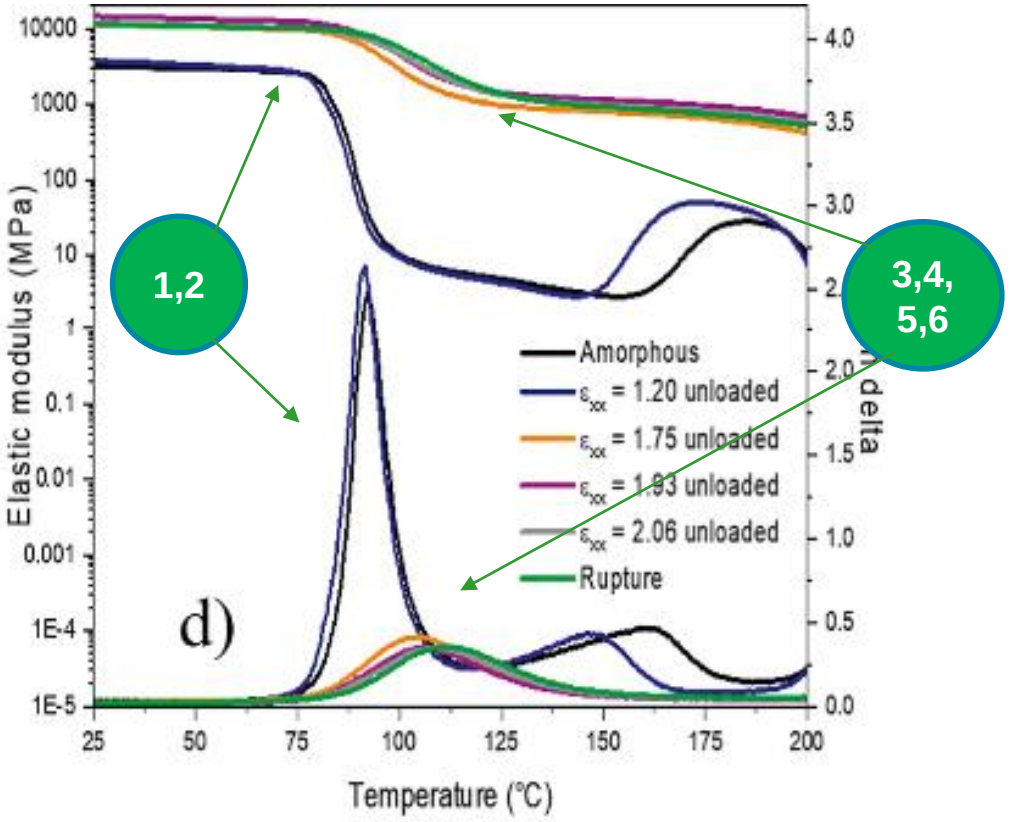
DM

Direction étirage



Propriétés induites





- **T_α initialement à 92 °C augmente jusqu'à près de 110 °C**
- **Plateaux vitreux et caoutchoutiques réhaussés par la cristallisation induite**

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Institut Mines-Télécom

Formabilité au dessus de Tg et Développement microstructural

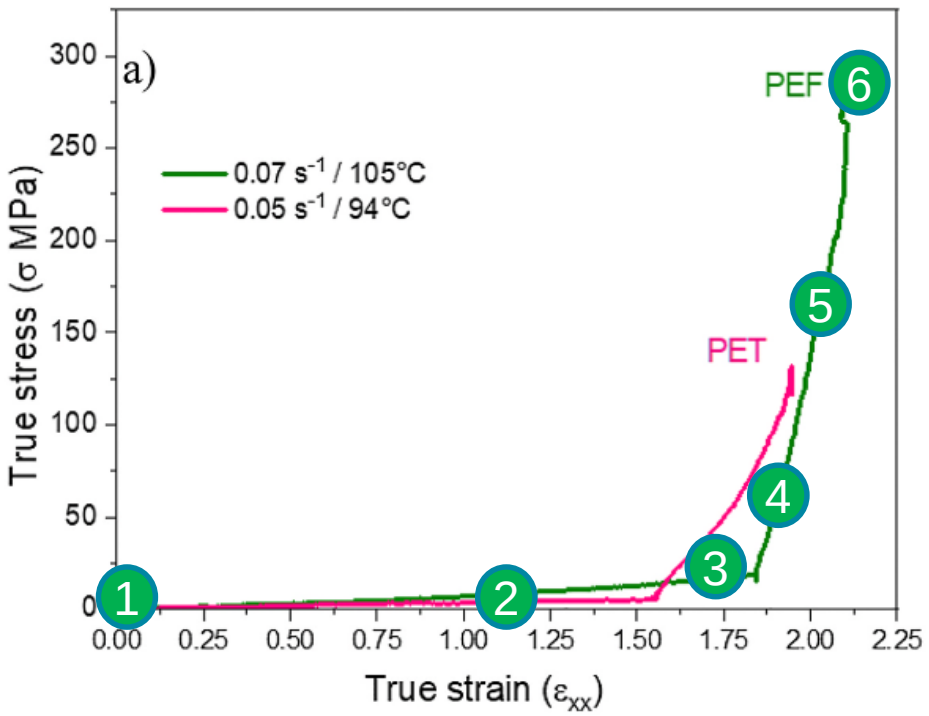
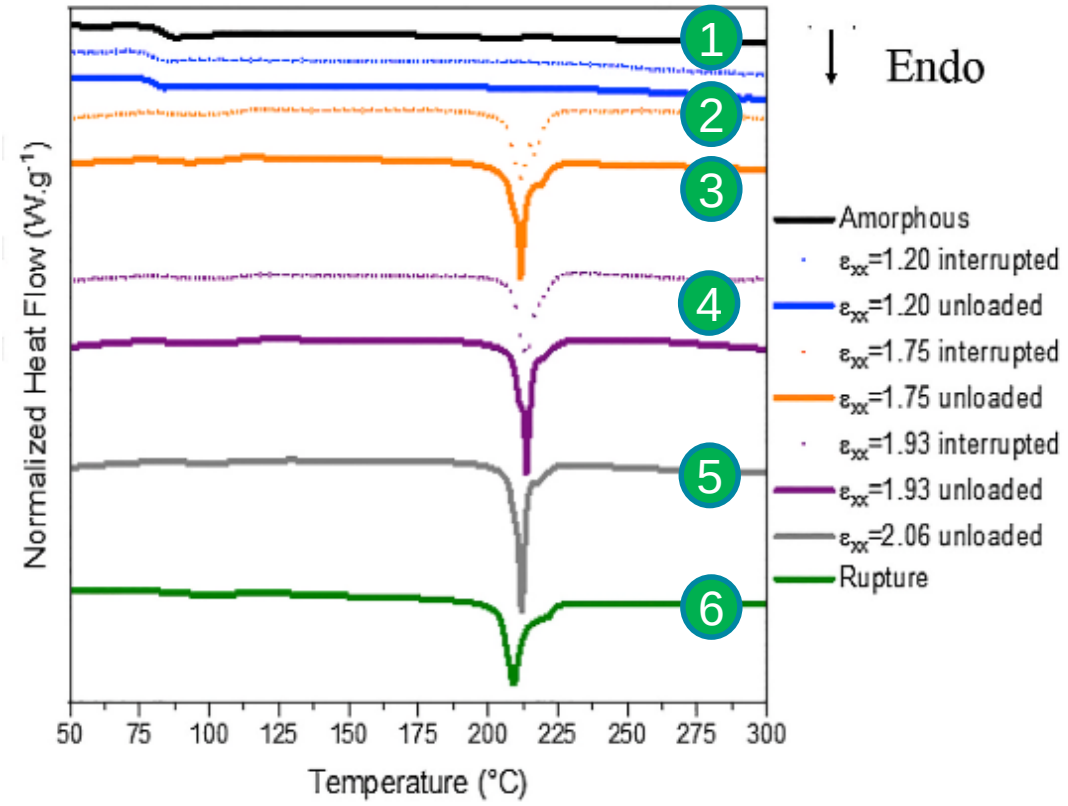
- **Gamme de formage large pour PEF comparé au PET**
- **Etirabilité intéressante du PEF : pertinent pour application soufflage**
- **Sensibilité aux couples (température, vitesse) avérée :**

  - Pertinence de l'équivalence temps/température
- **Durcissement structural du PEF plus tardif que PET**
- **PEF présente une cristallisation induite par la déformation ; phase orientée suivant direction d'étirage**
- **Développement scénario de cristallisation plus binaire pour PEF que pour PET**

  - Homogénéité des propriétés induites et pertinence des propriétés mécaniques et barrières obtenues

Perspectives

- **Quid de l'étirabilité et du développement microstructural en conditions de bi-étirage ? Au cours du procédé de soufflage bouteilles ?**
- **Commercialisation du PEF : 2023 ; 5 ktonnes/an**
- **Etudes en cours sur la recyclabilité du PEF et sa compatibilité avec le PET …**

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Propriétés induites