



Reval **PET**

*Caractérisation
mécanique de
mélanges
PET opaque/PP
recyclés*

Projet cofinancé par le Fonds Européen
de Développement Régional



Final workshop

28th, June 2019

ENIT:

Dr. Tramis

Dr. Chabert

Dr. Garnier

Prof. Nassiet

Mrs Saint-Genez

INA:

Ms Yus

Prof. Irusta

Contexte

Recycler les déchets plastiques ménagers sans trier?

Aujourd'hui : séparation du PET/PP/PE requise avant recyclage

Mélanges PP/PE - PP/PET - PET/PE
immiscibles

Mais! La non-miscibilité peut être
viable?

Quels impacts sur les propriétés des
mélanges?

Demain : recycler les mélanges sans
tri

Evaluer les propriétés des mélanges:

- Mécaniques (Traction, impact, **fatigue**)
- Physico-chimiques

Test de fatigue

Estimation de la durée de vie sous chargement cyclique

Qu'est-ce que la fatigue?

- Test dynamique
- Application d'une charge variable répétée
- Evaluation de la durée de vie en fatigue
- Limite en fatigue arbitraire!
- Durée de vie: nombre de cycles à rupture

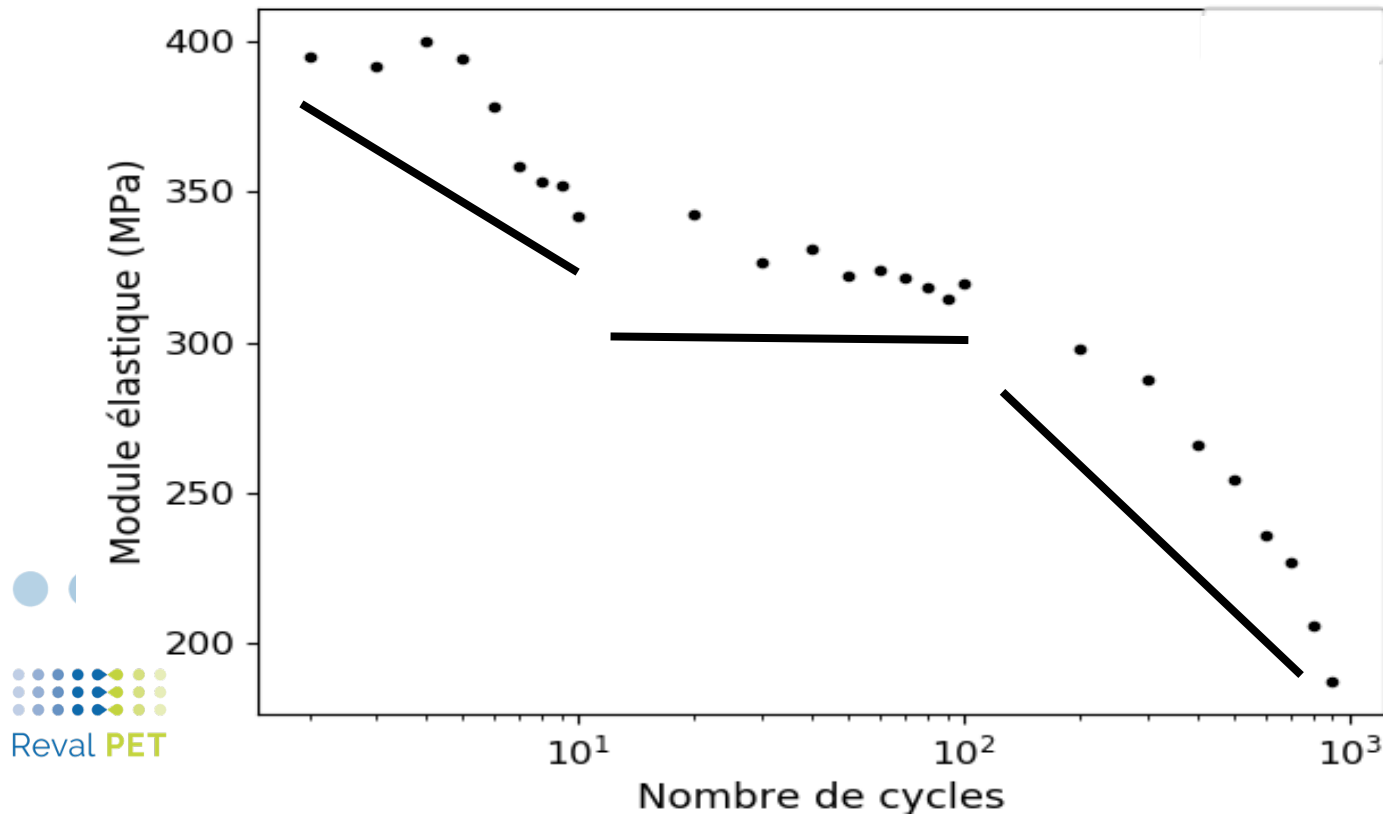


Test de fatigue

Estimation de la durée de vie sous chargement cyclique

Endommagement

- Dégradation des propriétés mécaniques
- Estimation de l'endommagement et de ses mécanismes



Test de fatigue

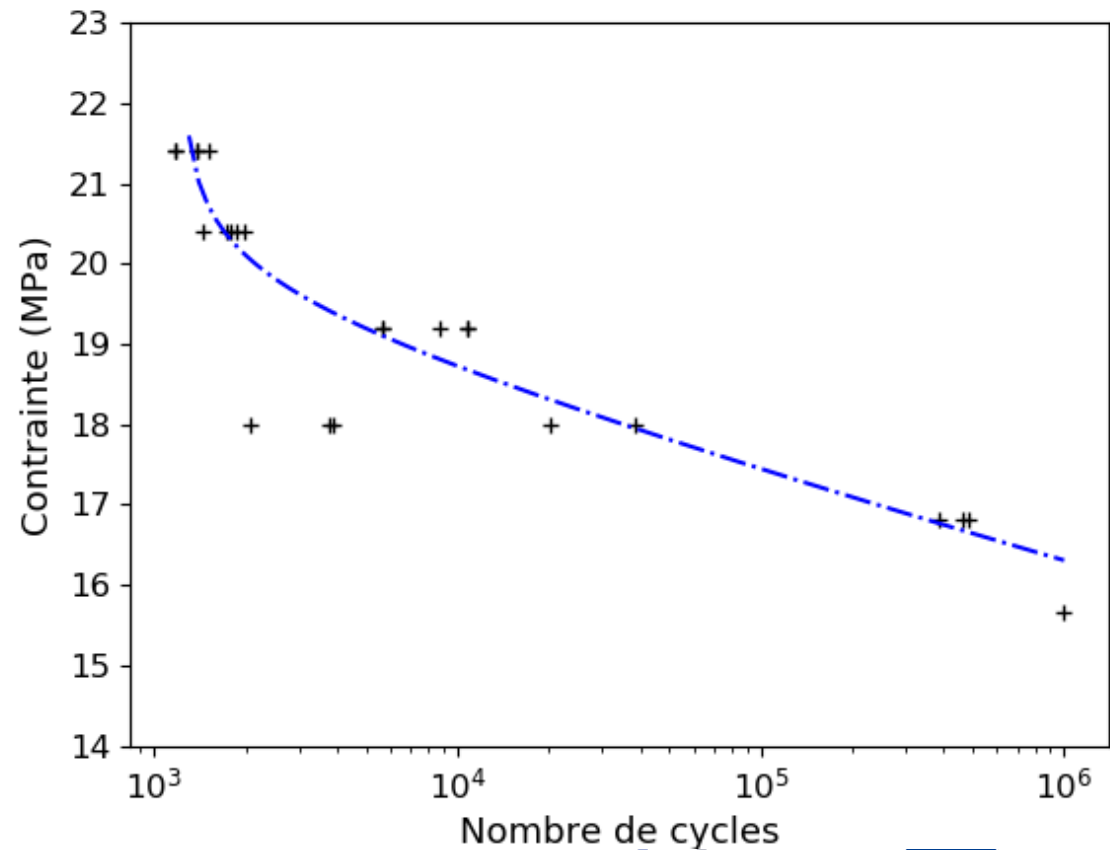
Prédiction de la durée de vie en fatigue – méthodes mécaniques

Modèles « classiques »
(métaux, composites)

$$\log(N) = a \log(\sigma) + b$$

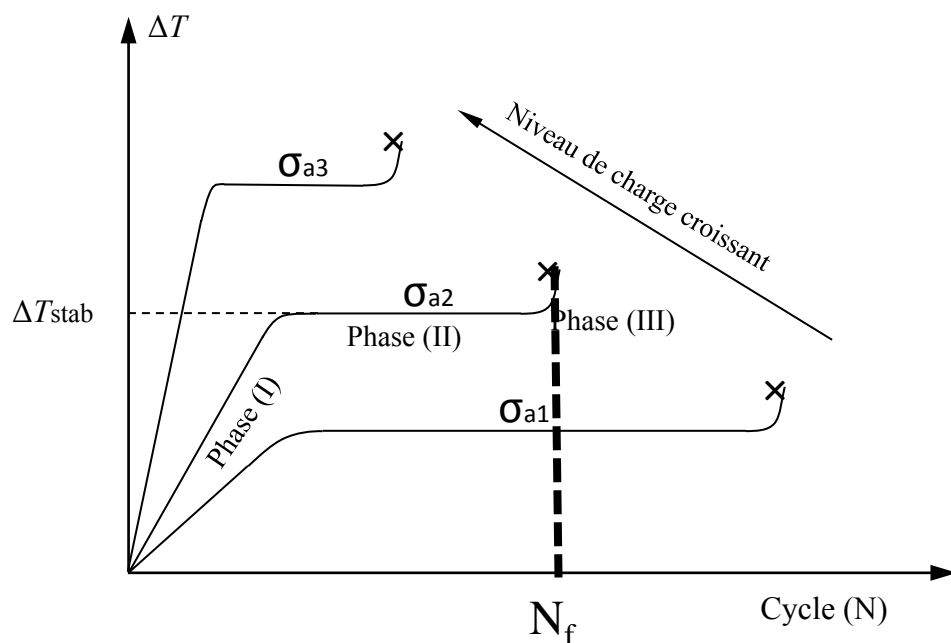
$$\sigma = 10^{\frac{1}{a} \left(\log(N) - b \right)}$$

Durée de vie « asymptotique »



Test de fatigue

Prédiction de la durée de vie en fatigue – méthodes thermiques



Critère de Risitano :

$$\Delta T \downarrow \text{stab } N \downarrow f = \text{constante}$$

Pour acier principalement

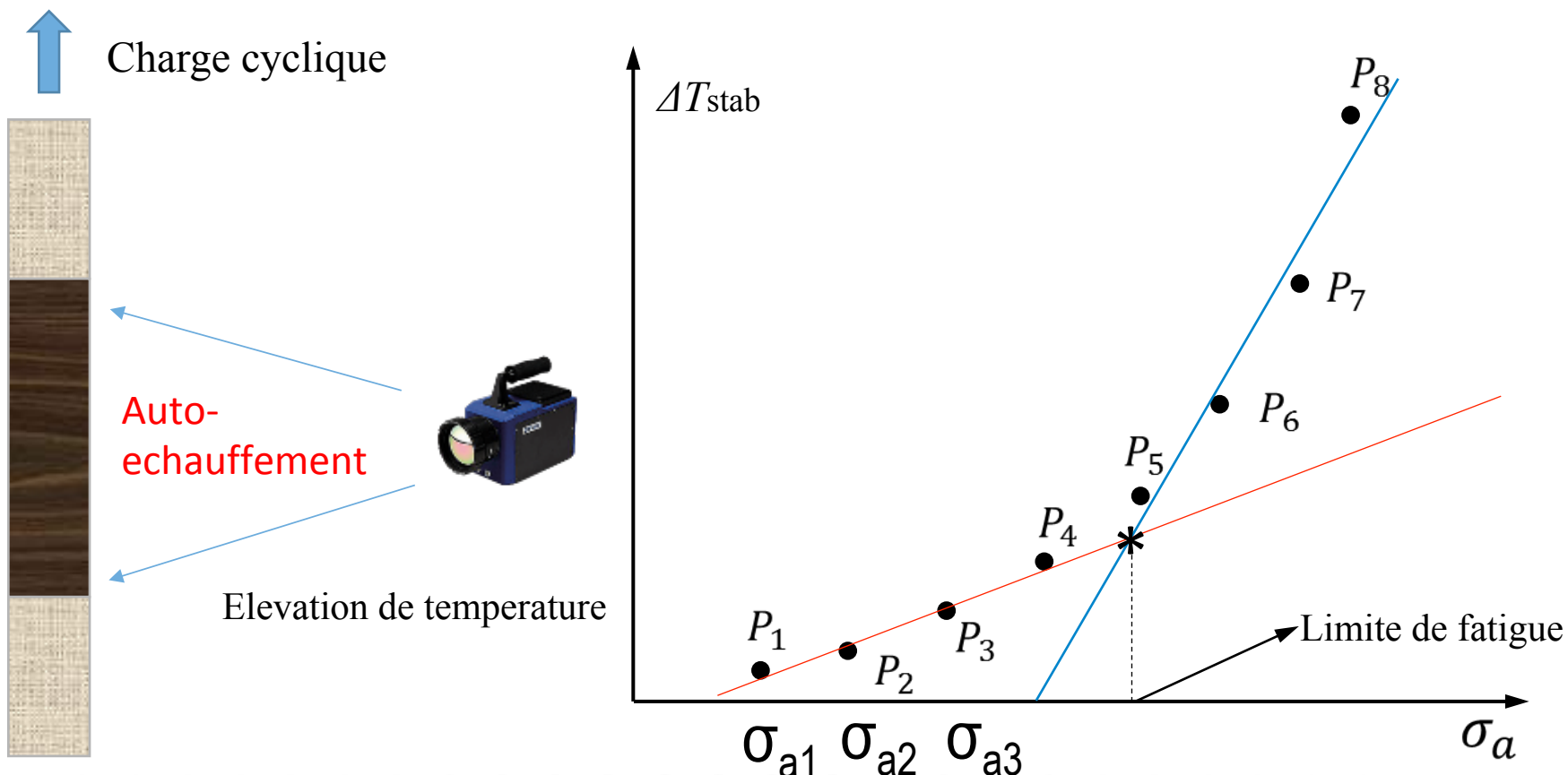
Critère de Montesano :

$$\Delta T \downarrow \text{stab } \log(N \downarrow f) = \text{constante}$$

Pour composites principalement

Test de fatigue

Prédiction de la durée de vie en fatigue – méthodes thermiques



Test de fatigue

Résumé

- Test dynamique : charge variable répétée
- Evaluation de la durée de vie en fatigue, de l'endommagement
- Modèles (méca, thermique) pour prédire la durée de vie

Applicable au thermoplastiques?
modélisation en cours!

Diapo suivante : mise en place des tests



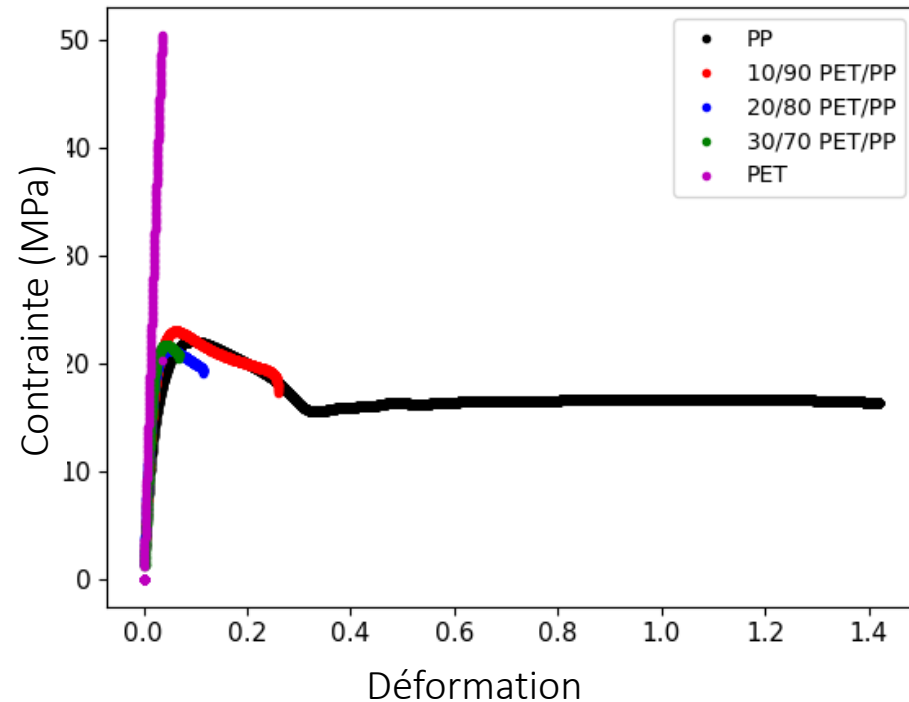
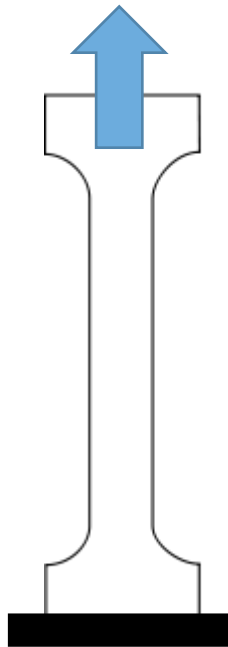
Mise en place expérimentale

Test de traction

Test de traction ISO527-1

Paramètres:

- **Contrainte ultime (UTS)**
- Module élastique
- Déformation à la rupture
- $T = 25^{\circ}\text{C}$
- $V = 10 \text{ mm/min}$
- 5 éprouvettes par lot



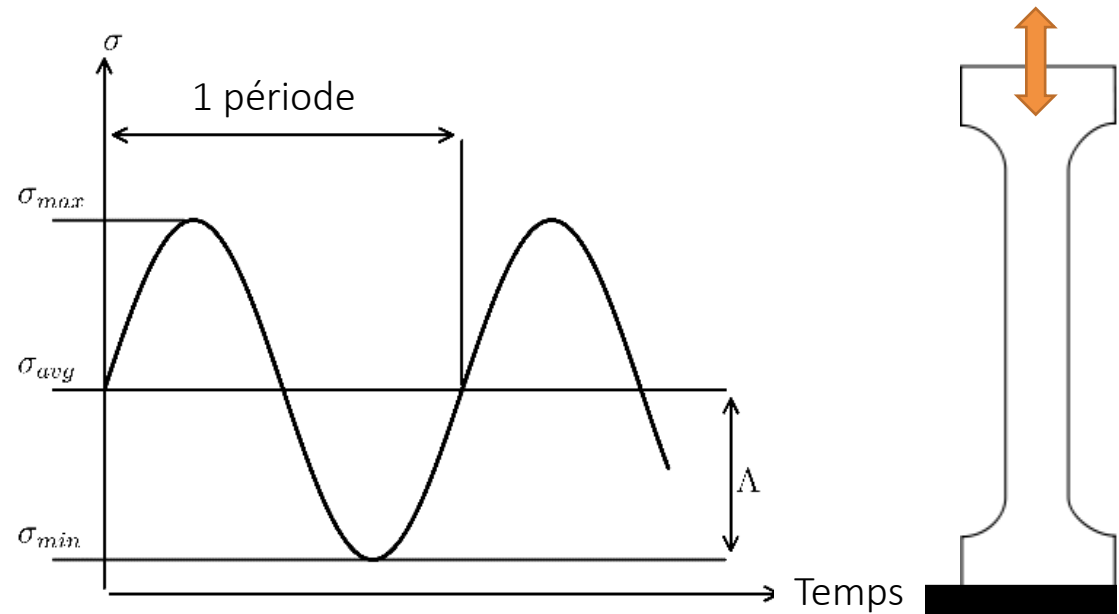
Mise en place expérimentale

Test de fatigue

Tests de Fatigue ISO13003:2003

Paramètres:

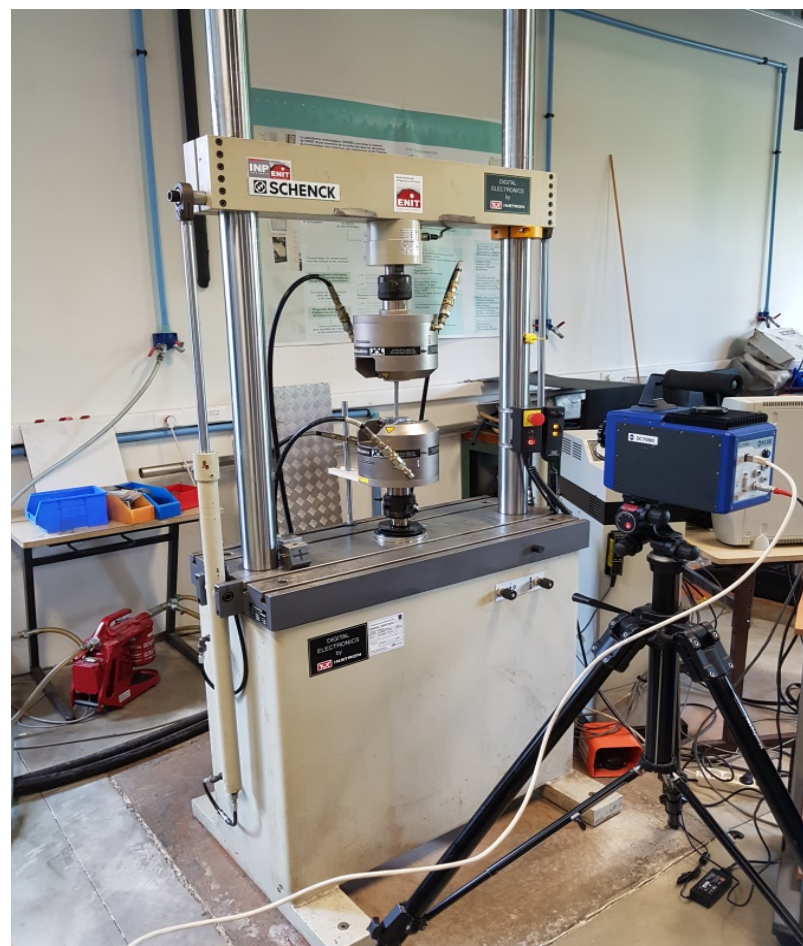
- Niveau de charge : $\sigma_{max} = x \% \text{ UTS}$
- $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0,1$
- $T = 25^\circ\text{C}$
- Fréquence = 5 Hz
- Limite de fatigue : 1 million de cycles
- 5 éprouvettes par lot
- 5 niveaux de charge (%UTS) par lot



Contrôle non destructif

Thermographie Infrarouge – IRT

- Caméra IR : Cedip Jade III MWIR rétrofittée Flir Titanium SC7200
- Gamme: 15 – 300 °C
- Résolution thermique: 20 mK à 30 °C
- Résolution numérique: 320 x 256 px
- Gamme spectrale IR: 3,70 – 5,15 µm
- Distance fixe: 850 mm

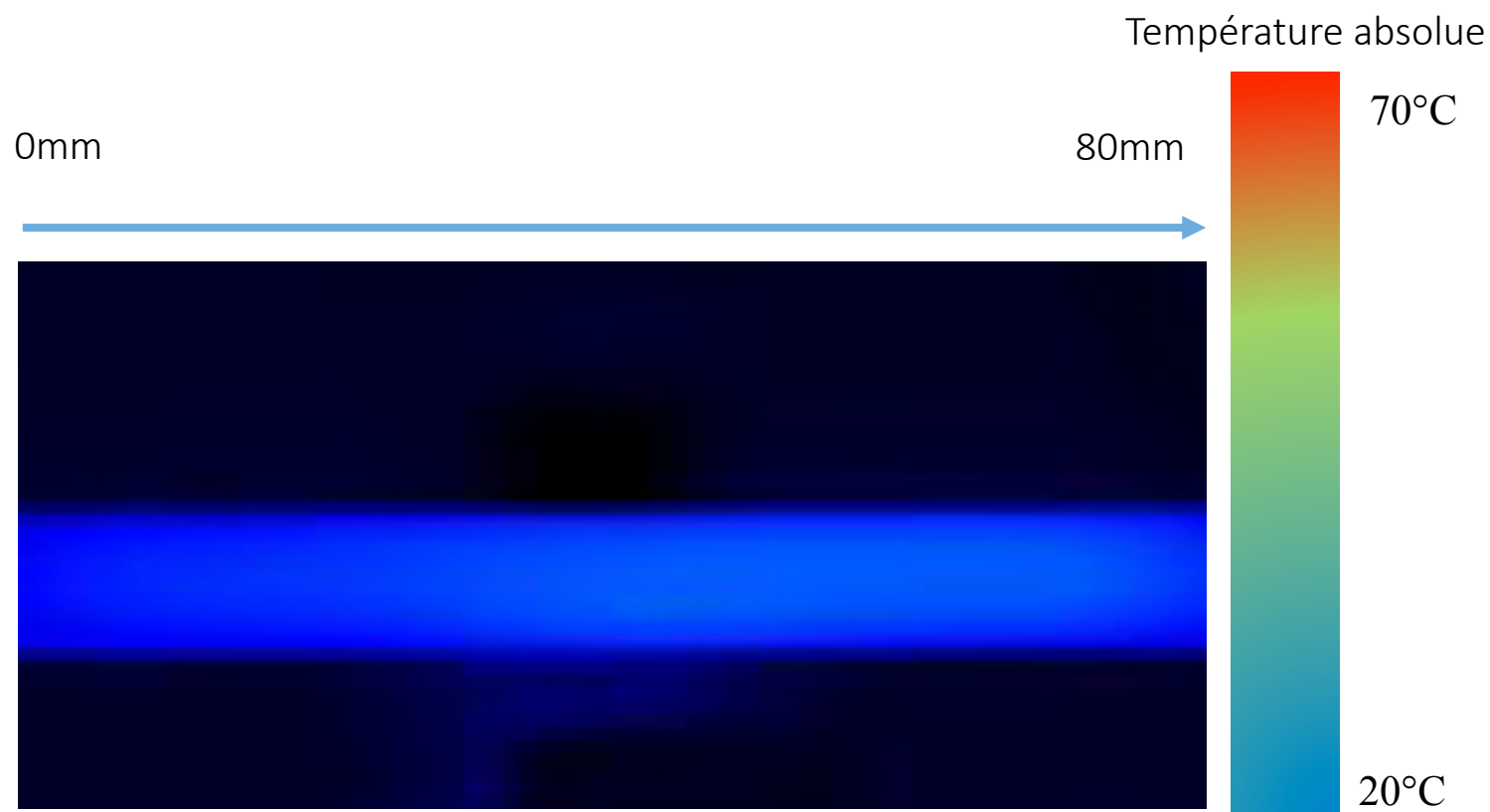


Contrôle non destructif

Thermographie Infrarouge - IRT

Méthode	Résolution numérique (px)
---------	---------------------------

IRT	350 x 256
-----	-----------

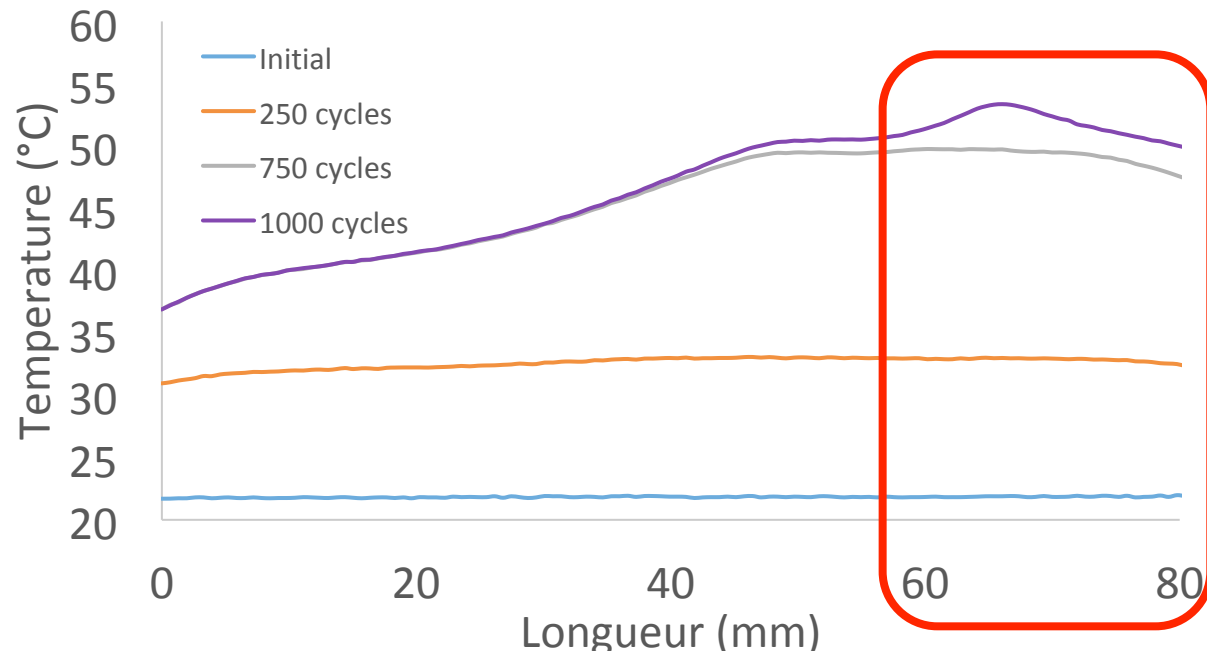
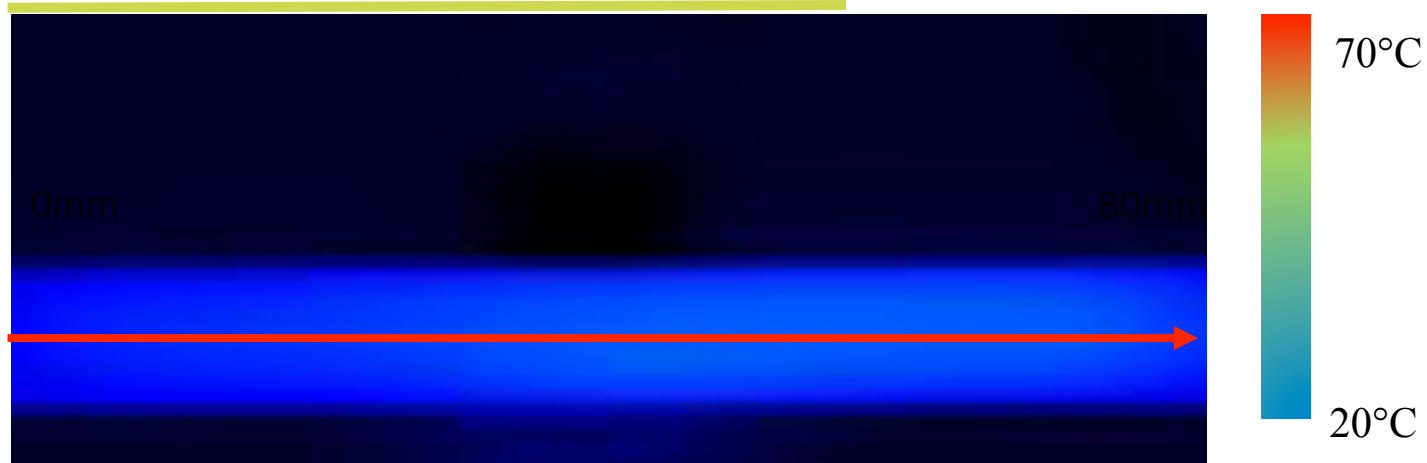


Contrôle non destructif

Thermographie Infrarouge - IRT

Méthode	Résolution numérique (px)
---------	---------------------------

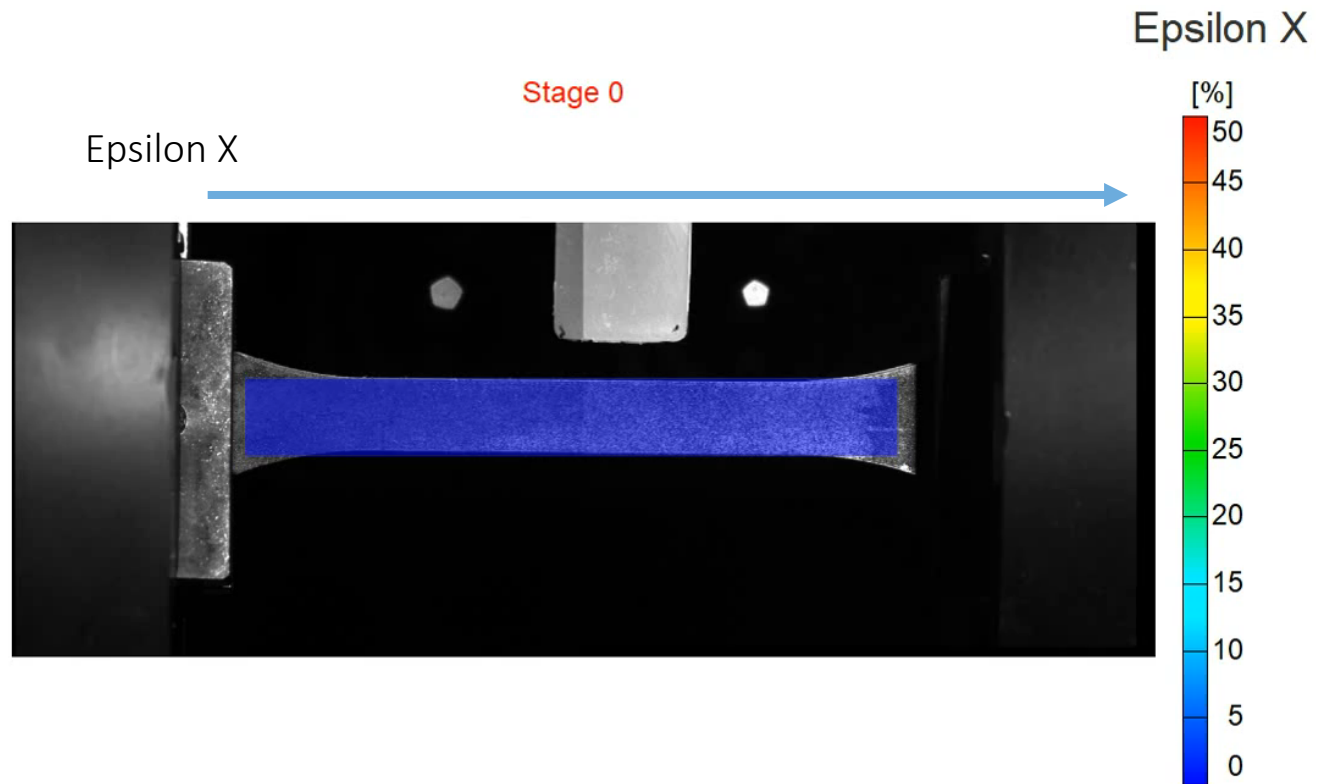
IRT	350 x 256
-----	-----------



Contrôle non destructif

Corrélation d'images numériques - DIC

- Caméras jumelles Aramis
- 2M Gom®
- Résolution numérique :
1624 x 1256 px
- Distance fixe : 800 mm

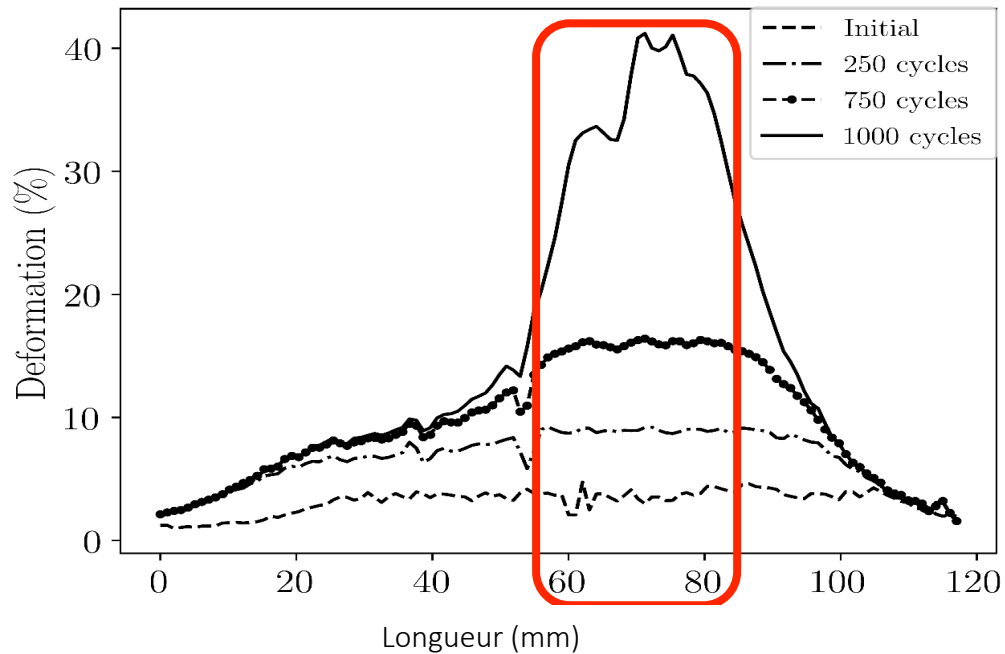
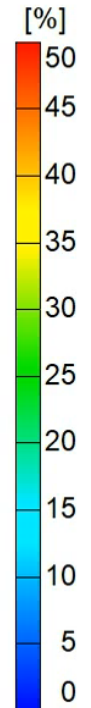
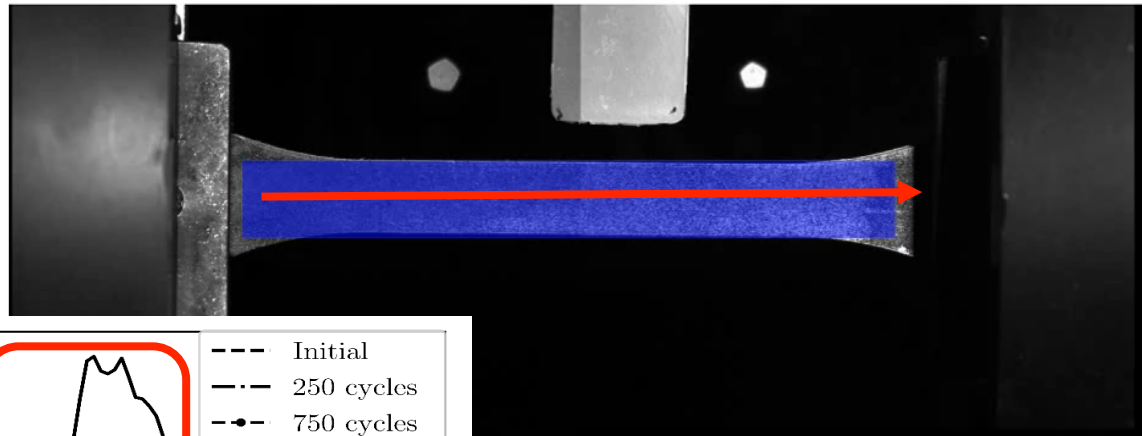


Contrôle non destructif

Corrélation d'images numériques - DIC

Epsilon X

Stage 0



financé par le Fonds Européen
de Développement Régional

Interreg
POCTEFA



Contrôle non destructif

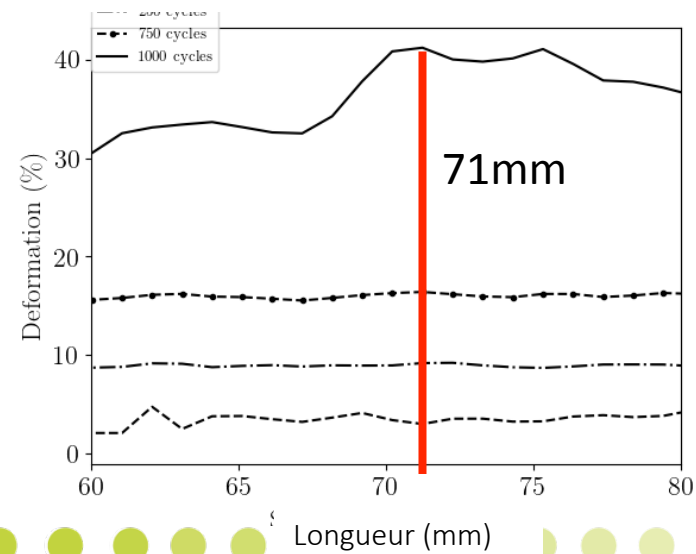
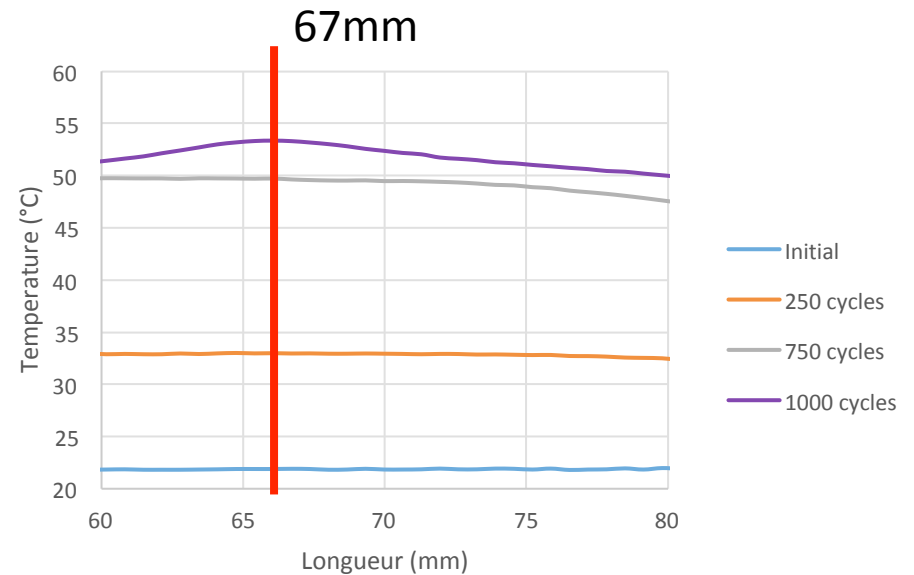
Comparaison IRT - DIC

Méthode Résolution numérique (px²)

IRT 350 x 256

DIC 1624 X 1256

IRT et DIC donnent des informations similaires



Résultats

Tests de traction

Echantillon	Module élastique (GPa)	UTS (MPa)	Déformation à rupture (%)
PP	$0,92 \pm 0,3$	$22,3 \pm 0,3$	104 ± 35
10/90	$1,01 \pm 0,18$	$23,7 \pm 0,5$	$29,4 \pm 9,3$
20/80	$1,2 \pm 0,14$	$21,8 \pm 0,4$	$13,1 \pm 2,4$
30/70	$1,3 \pm 0,11$	$20,9 \pm 0,6$	$7 \pm 1,6$
PET	$1,71 \pm 0,32$	$48,7 \pm 8$	$3,4 \pm 0,8$



Résultats

Tests de traction

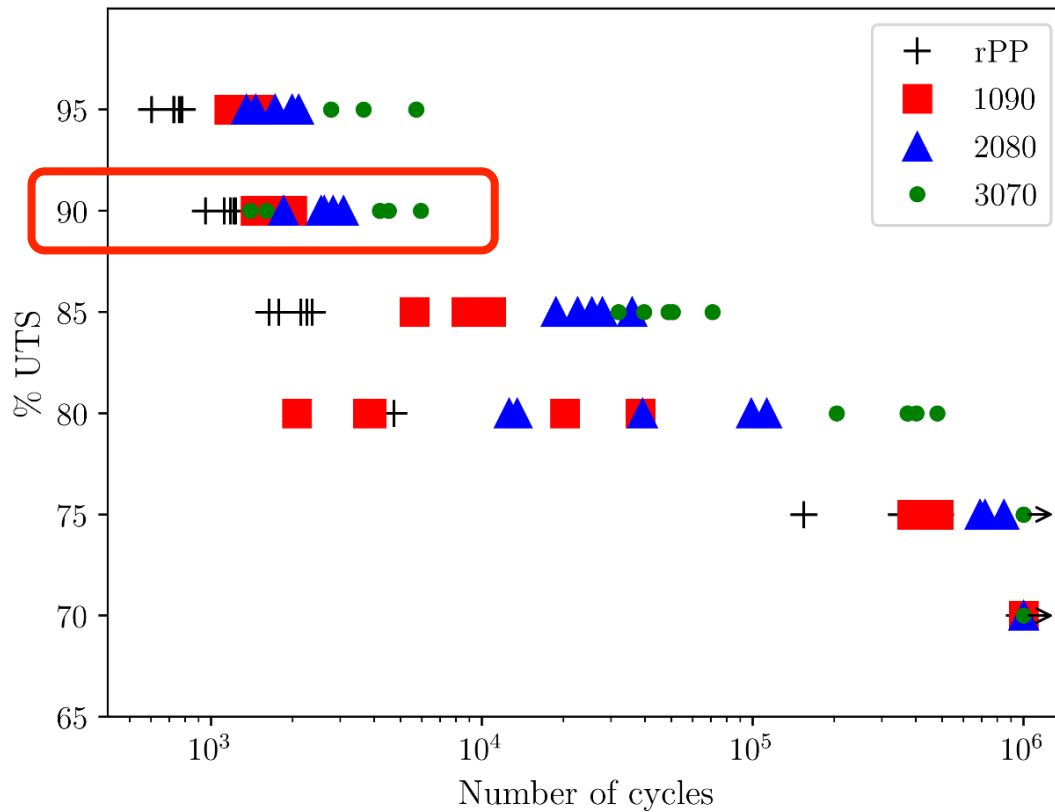
Echantillon	Module élastique (GPa)	UTS (MPa)	Déformation à rupture (%)
PP	$0,92 \pm 0,3$	$22,3 \pm 0,3$	104 ± 35
10/90	$1,01 \pm 0,18$	$23,7 \pm 0,5$	$29,4 \pm 9,3$
20/80	$1,2 \pm 0,14$	$21,8 \pm 0,4$	$13,1 \pm 2,4$
30/70	$1,3 \pm 0,11$	$20,9 \pm 0,6$	$7 \pm 1,6$
PET	$1,71 \pm 0,32$	$48,7 \pm 8$	$3,4 \pm 0,8$

L'addition de O-PET améliore les propriétés mécaniques en traction du PP



Résultats

Durée de vie en fatigue

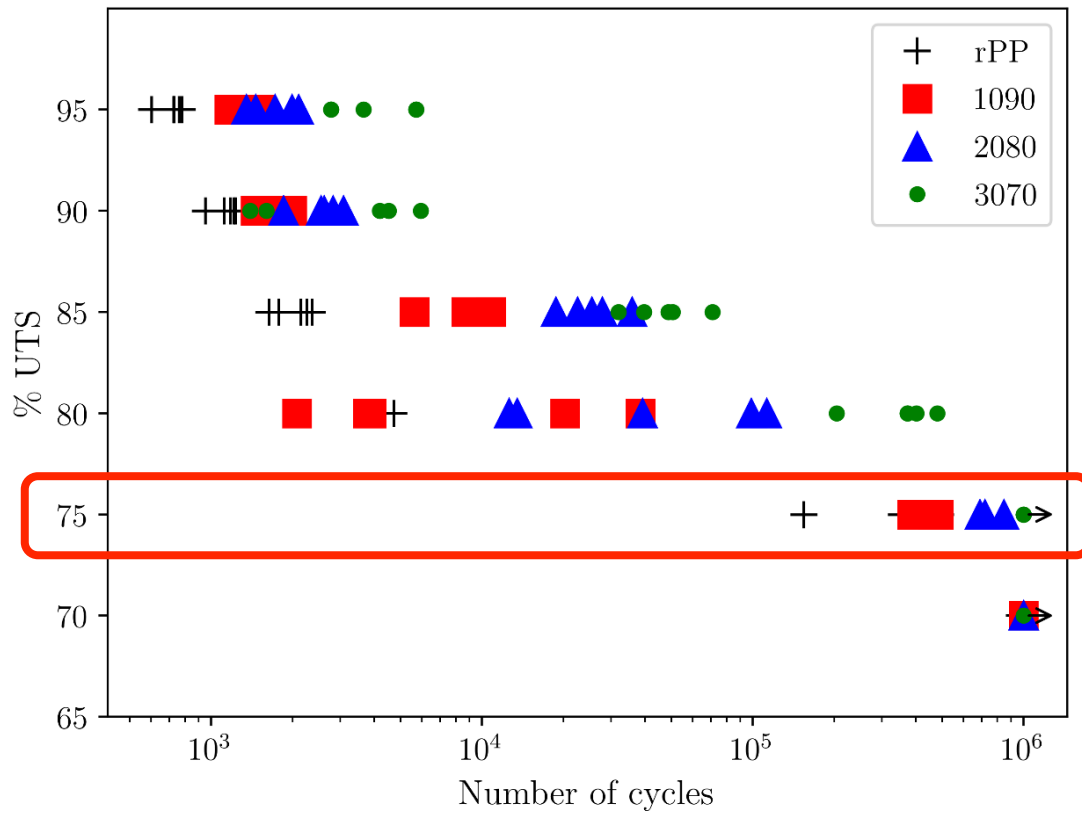


Echantillon	Durée de vie à 90%UTS (Nombre de cycles)
PP	1000
10/90	2000
20/80	2500
30/70	4500



Résultats

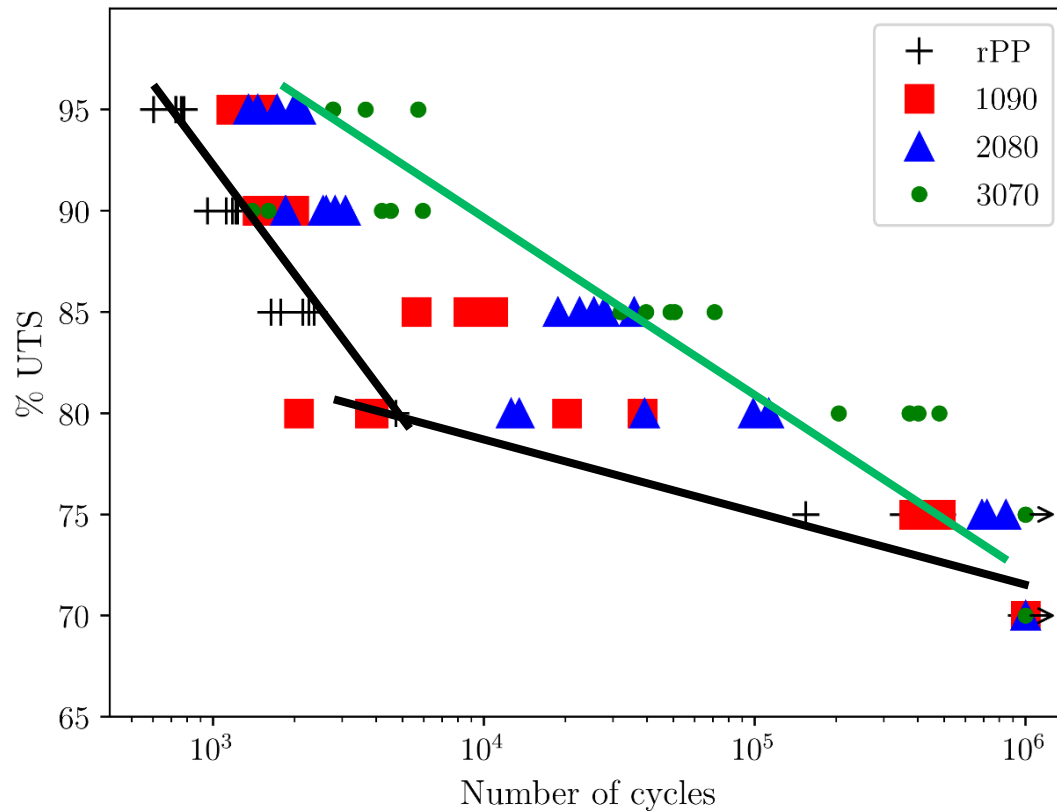
Durée de vie en fatigue



Echantillon	Durée de vie à 75%UTS (Nombre de cycles)
PP	10 ⁵
10/90	4.10 ⁵
20/80	8.10 ⁵
30/70	10 ⁶

Résultats

Durée de vie en fatigue

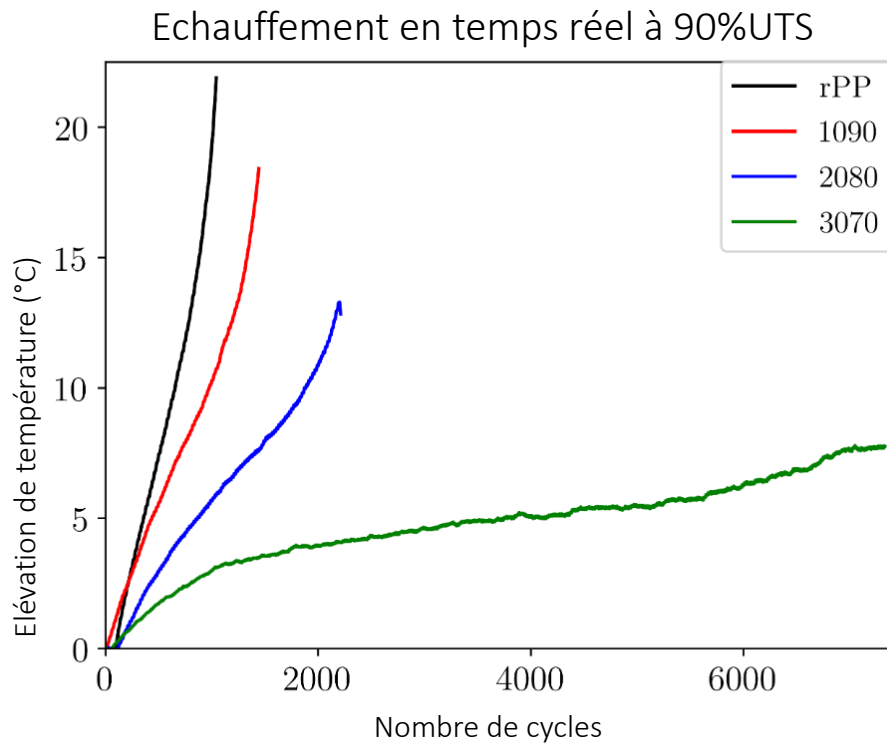


L'addition de O-PET :

- améliore la durée de vie en fatigue du PP
- Modifie les mécanismes d'endommagement du PP

Résultats

Elévation de température en temps réel



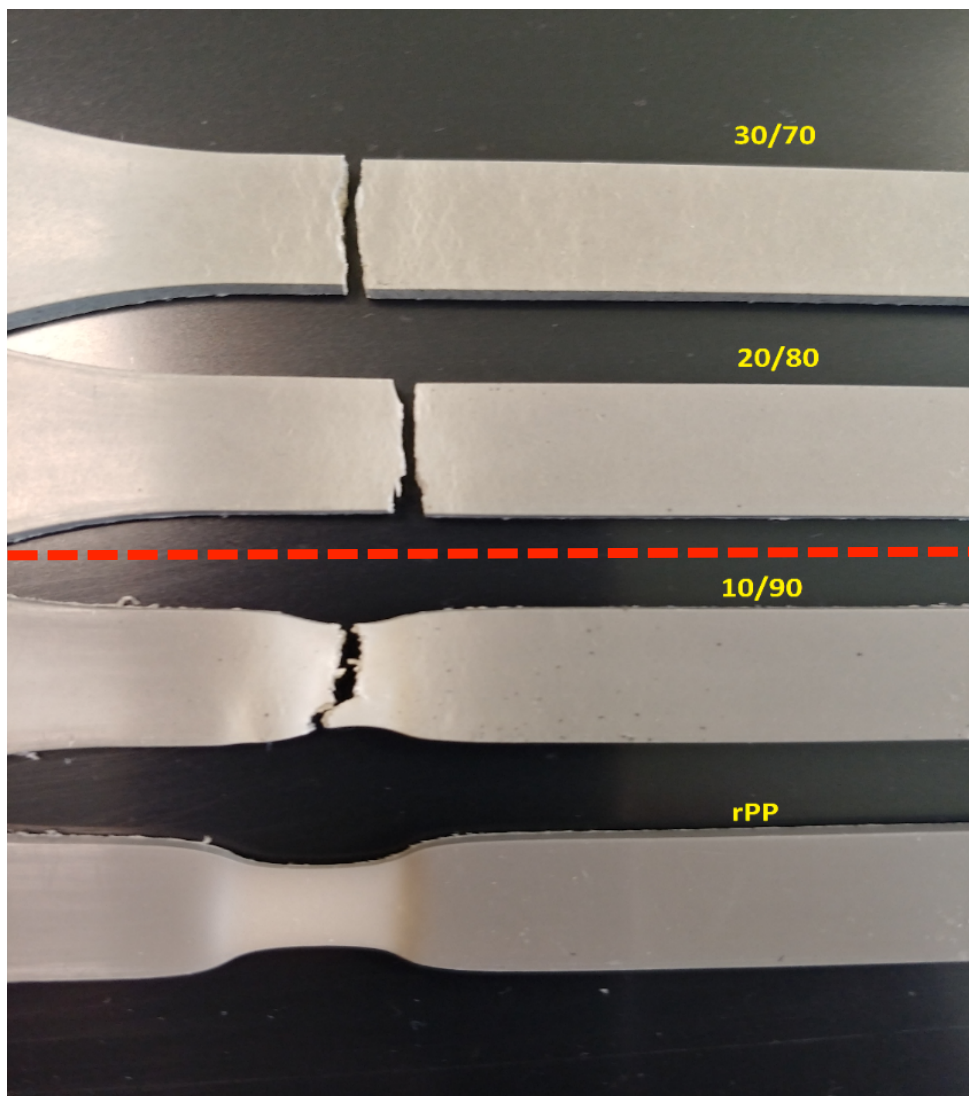
L'addition de O-PET réduit l'échauffement lors d'une sollicitation en fatigue

Cinétique d'échauffement modifiée

Modification des mécanismes d'endommagement

Résultats

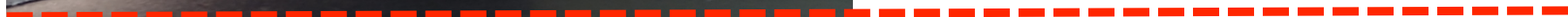
Faciès de rupture



Modes de rupture



Rupture fragile « quasi-statique »



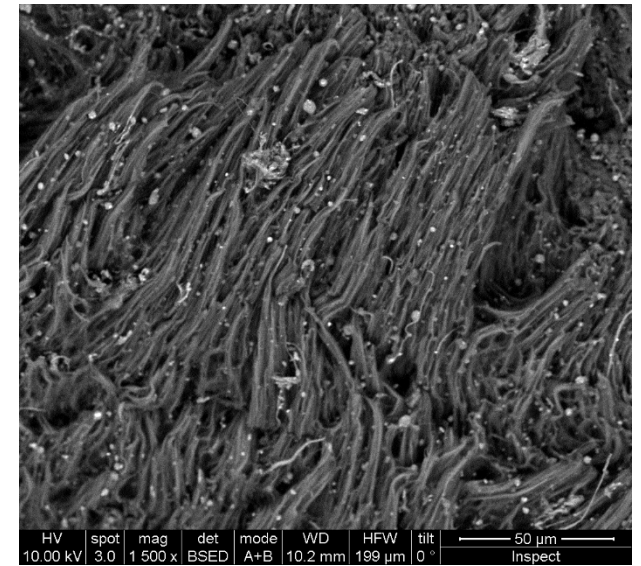
Rupture de fatigue



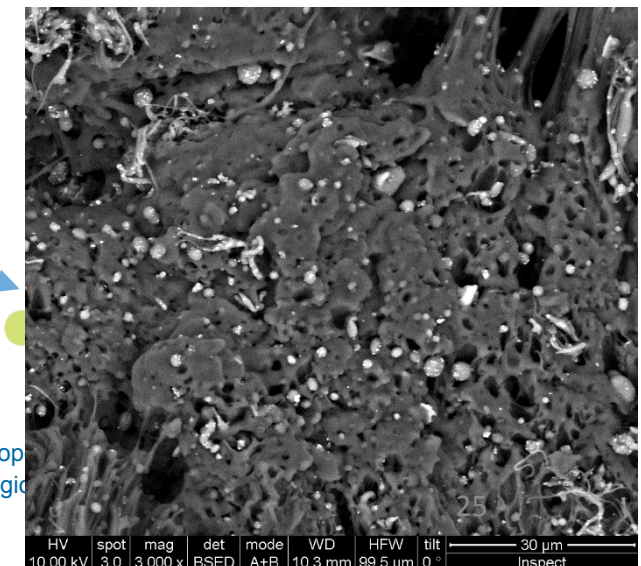
Résultats

Microstructure des faciès de rupture

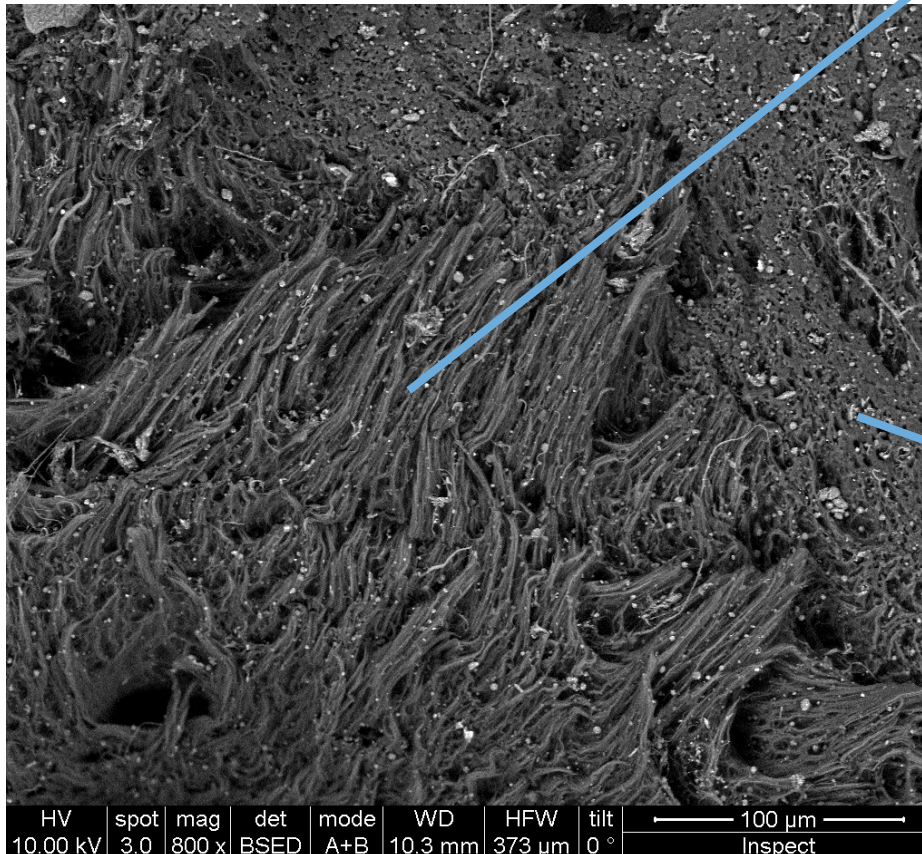
Jusqu'à 10%wt de O-PET, la matrice PP supporte la charge



Zone orientée



Zone fondue

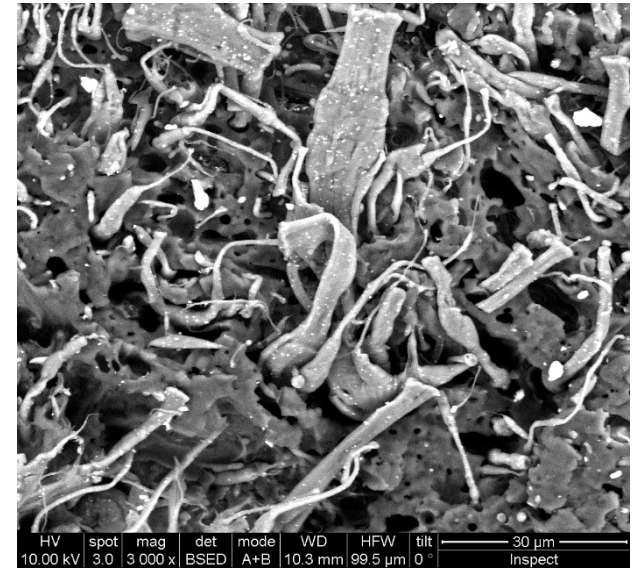


Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

Résultats

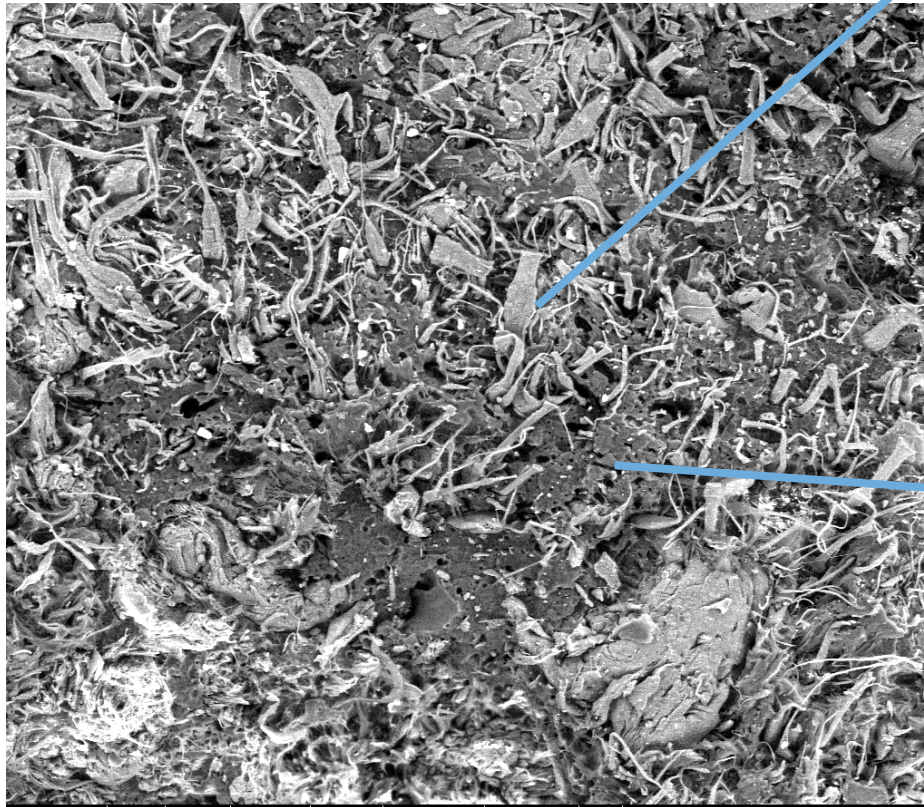
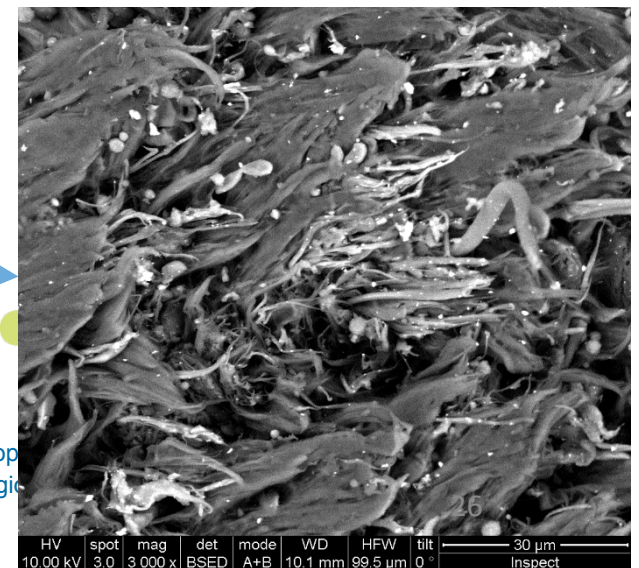
Microstructure des faciès de rupture

À partir de 20%wt de O-PET, le O-PET supporte la charge



Zone de O-PET étirée

Zone de PP étirée



Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

Conclusions

Résumé des résultats

L'ajout de O-PET améliore :

- Les propriétés mécaniques en traction du PP recyclé
- La durée de vie en fatigue du PP recyclé

Le O-PET joue le rôle de renfort mécanique pour la matrice en PP recyclé



Conclusions

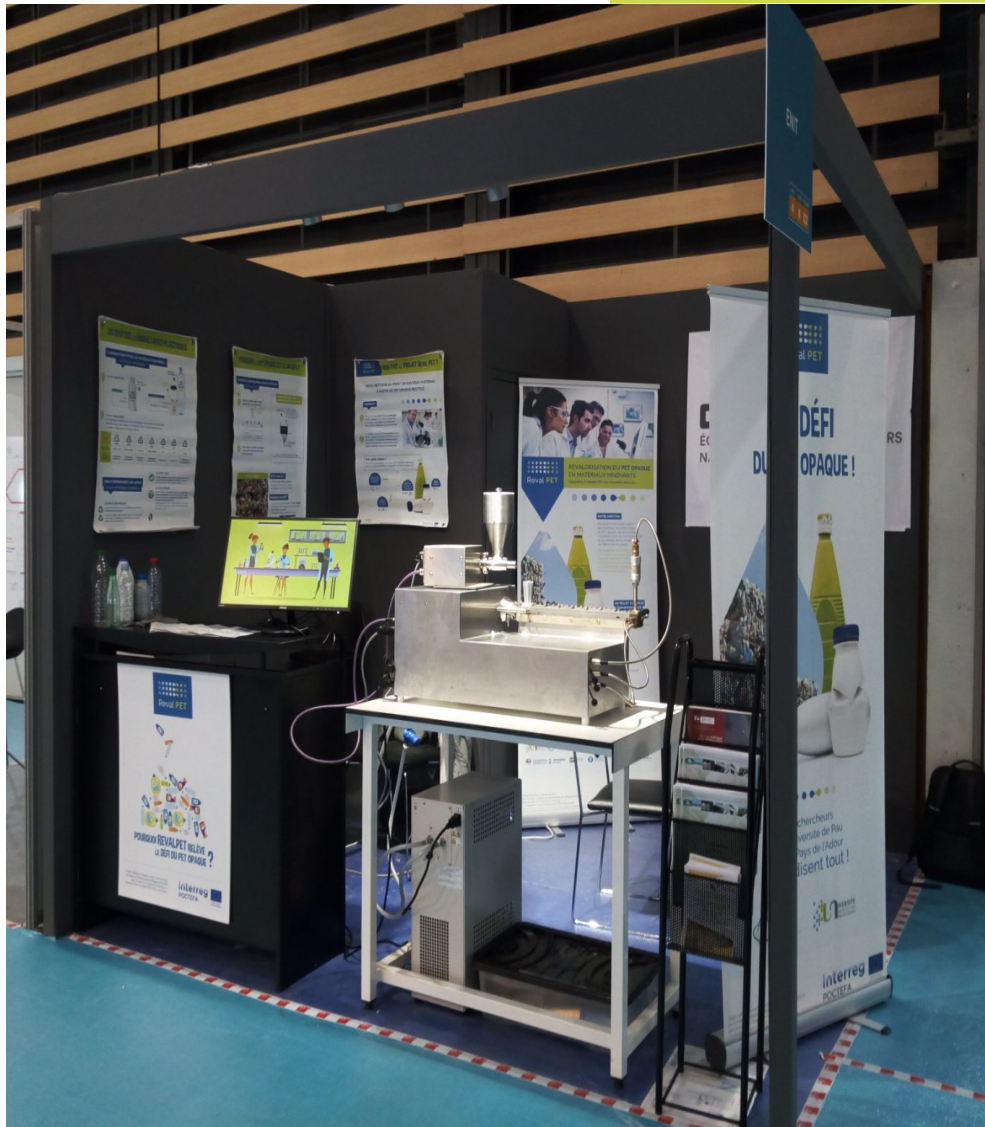
Quels débouchés pour le recyclage du PET opaque?

- Au vu des résultats obtenus, l'ajout de PET opaque améliore les propriétés mécaniques en traction et en fatigue du PP recyclé
- L'ajout de PET opaque en faible quantité (> 10%wt) ne modifie pas les propriétés mécaniques du PP

Conclusion majeure :
il est possible d'incorporer du PET opaque dans
les chaînes de recyclage du PP



Merci de votre attention



Diapos supports

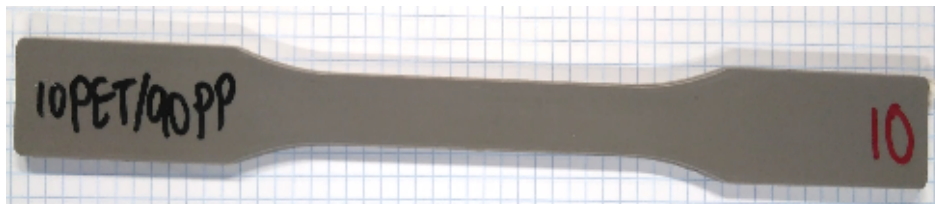
Préparation des échantillons

Mélanges PP/O-PET



Paramètres d'injection:

- Vitesse d'injection: 150mm/s
- Dose: 200 tr/min
- Ø vis: 25mm
- T buse : 235-230-225-220°C
- T moule: 40°C
- 4 secondes à 500 bars



4 lots: PP, 1090, 2080, 3070

