
Optimisation des propriétés du poly(butylène succinate)

I. Introduction

Les chapitres précédents ont révélé des pistes intéressantes pour pouvoir améliorer la stabilité du PBS face à l'hydrolyse et améliorer ses propriétés mécaniques. L'objectif de ce chapitre est de combiner les éléments les plus prometteurs et de les tester au niveau des propriétés mécaniques et face à l'hydrolyse.

II. Formulation à partir du copolymère statistique à base de Pripol

Le chapitre 3 a mis en évidence l'efficacité de la modification du PBS à base de 10% molaires de Pripol face à la dégradation hydrolytique. En effet, ce monomère à chaînes alkyles latérales permet d'augmenter l'hydrophobie du PBS. Cependant, l'incorporation de ce motif souple dans les chaînes du PBS, accompagné de la diminution du taux de cristallinité, diminue les propriétés mécaniques du matériau dans la mesure où il diminue significativement le module d'Young, passant de 260 à 125 MPa. L'objectif de cette étude est alors d'améliorer les propriétés du copolymère PBS/Pripol tout en conservant une bonne stabilité face à l'hydrolyse.

1. Matériaux utilisés et mise en œuvre

Le PBS de référence utilisé dans cette étude est un PBS synthétisé sur le réacteur pilote en utilisant 400 ppm de titane comme catalyseur. Le copolymère statistique PBS 10% molaires de Pripol a également été synthétisé sur le réacteur pilote dans les mêmes conditions, comme décrit dans le chapitre 3.

Le carbonate de calcium utilisé est l'Hydrocarb 75T de chez Omya et l'agent multifonctionnel est le Joncryl ADR 4368 (BASF).

La formulation choisie a été réalisée à partir du copolymère statistique PBS 10% molaires de Pripol, auquel ont été ajoutés 1% massique de Joncryl afin d'augmenter la masse molaire du matériau et 30% massiques de carbonate de calcium dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques en conservant une bonne ductilité et en améliorant encore la stabilité face à l'hydrolyse. Cette formulation sera dénommée PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30% CaCO₃ dans la suite de ce chapitre.

Cette formulation a été réalisée à l'échelle pilote à 180°C à l'aide d'une extrudeuse Clextral (Annexe 1) en une étape, après avoir prémélangé manuellement les différents constituants du mélange, puis injectée sur une presse pilote.

2. Propriétés des matériaux mis en œuvre

a. Viscosité réduite

La mesure de la viscosité réduite, reflétant la masse molaire du matériau, a été mesurée après les étapes d'extrusion et d'injection. On constate que la viscosité réduite de la formulation PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ est assez faible, 152 mL/g, alors que la présence de Joncryl aurait dû allonger les chaînes du copolymère PBS 10%Pripol et conduire à un matériau de masse molaire plus élevée. Par exemple, nous avons constaté que le PBS Enpol 4560J avec 1% de Joncryl avait vu sa viscosité réduite augmenter de 182 à 251 mL/g dans des conditions de mise en œuvre similaires. Ces observations permettent tout d'abord de mettre en évidence le fait que le copolymère PBS 10%Pripol utilisé, qui avait été synthétisé plusieurs mois avant sa mise en œuvre, a subi une dégradation hydrolytique au cours du stockage mais aussi que le Joncryl n'a pas pu jouer son rôle d'allongeur de chaîne. Le carbonate de calcium présent dans le milieu a probablement neutralisé les fins de chaînes acide du copolymère PBS 10%Pripol et par conséquent empêché le Joncryl de réagir avec ces fonctions.

Pour valider cette hypothèse, un essai de mise en œuvre du PBS Enpol 4560J avec 1% massique de Joncryl et 30% massiques de carbonate de calcium a été réalisé. La viscosité réduite de cette formulation après extrusion en une étape et injection à 180°C est de 175 mL/g au lieu de 251 mL/g sans carbonate de calcium, validant l'hypothèse établie. Une solution envisageable pour éviter ce phénomène serait de réaliser l'extrusion en deux étapes, la première visant à allonger les chaînes de copolymère avec le Joncryl et la seconde à incorporer le carbonate de calcium dans la formulation.

b. Propriétés thermiques

Une analyse ATG réalisée sur le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ sous air a permis de connaître la proportion réelle en carbonate de calcium dans le matériau, qui s'élève à 35% massiques.

Des analyses DSC ont également été menées sur le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ et comparées à celles déjà réalisées sur le PBS et le copolymère PBS 10% Pripol afin de pouvoir comparer le comportement de chacun. La Figure 1 montre les profils de courbes obtenues en DSC et le Tableau 1 récapitule les différentes caractéristiques thermiques. La seconde montée en température du PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ montre des caractéristiques similaires au copolymère PBS 10% Pripol, c'est-à-dire une diminution de la température de fusion et du taux de cristallinité, non compensée par l'introduction du carbonate de calcium, comme cela avait pu être constaté dans le

chapitre 4. Un double pic de fusion apparaît dans le cas du PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ comme cela avait été observé dans le chapitre 3 avec l'introduction de Joncryl dans le PBS. Lors de la descente en température, une augmentation importante de la température de cristallisation est observée, passant de 32°C pour le PBS 10% Pripol à 71°C pour le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃. Cette augmentation peut être attribuée au Joncryl, comme cela avait été observé dans le chapitre 3, et/ou à un effet nucléant du carbonate de calcium qui apparaîtrait lorsque la cristallisation du polymère est très lente, comme cela est le cas pour le copolymère PBS 10% Pripol.

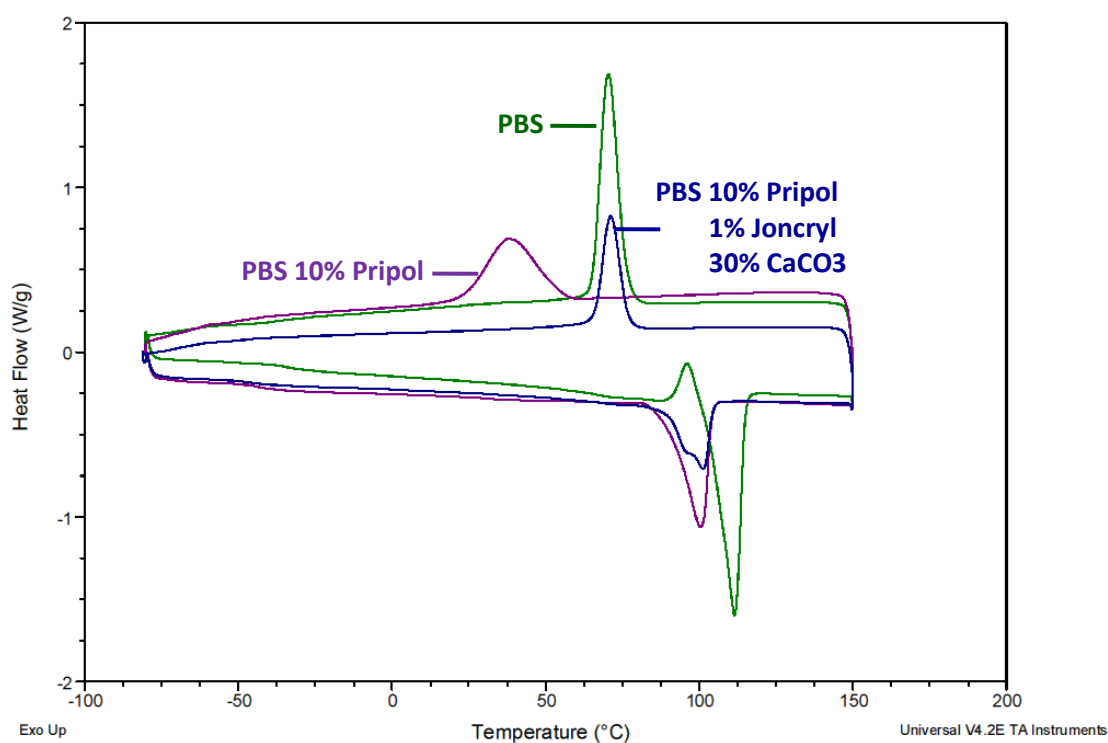


Figure 1 Comparaison des courbes DSC du PBS, du copolymère PBS 10% molaire Pripol et du mélange PBS 10% molaire Pripol, 1% massique Joncryl et 30% massiques CaCO₃ – Représentation de la descente et de la deuxième montée en température

Tableau 1 Caractéristiques thermiques du PBS, du copolymère PBS 10% molaire Pripol et du mélange PBS 10% molaire Pripol, 1% massique Joncryl et 30% massiques CaCO₃

	η_{red} (mL/g)	2 ^{ème} montée				Descente		
		Tg (°C)	Tf (°C)	ΔH_f (J/g)	Xc (%)	Tc (°C)	ΔH_c (J/g)	Xc (%)
PBS	192	-35	112	60	28	70	61	29
PBS 10%Pripol	163	-44	101	46	22	32	46	22
PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO ₃	152	-46	101	29	20	71	29	20

c. Propriétés mécaniques

Des essais de traction réalisés selon les conditions présentées en annexe 1 ont permis d'évaluer les propriétés mécaniques en traction des matériaux mis en œuvre. Le Tableau 2 récapitule les données obtenues ainsi que celles qui avaient été obtenues dans le cas du copolymère statistique PBS 10%Pripol dans le chapitre 3.

Tableau 2 Propriétés mécaniques du PBS, du copolymère PBS 10% molaire Pripol et du mélange PBS 10% molaire Pripol, 1% massique Joncryl et 30% massique CaCO₃

	Module d'Young (MPa)	Contrainte au seuil (MPa)	Contrainte à la rupture (MPa)	Allongement à la rupture (%)
PBS	280	32	57	1200
PBS 10%Pripol	130	15	24	760
PBS 30% CaCO ₃	460	24	31	530
PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO ₃	250	18	18	320

L'utilisation de 30% massiques de carbonate de calcium permet d'améliorer significativement les propriétés du copolymère statistique PBS 10% Pripol. En effet, le module d'Young passe de 127 à 249 MPa et permet de retrouver les propriétés du PBS. On constate que l'allongement à la rupture est cependant inférieur à celui du copolymère statistique PBS 10% Pripol, principalement dû à une dégradation hydrolytique du copolymère entre le moment de la synthèse et de la mise en œuvre, comme cela a été observé avec la viscosité réduite. La contrainte au seuil n'est pas améliorée par rapport au PBS 10%Pripol ce qui ne va pas dans le bon sens. C'est ce que nous avons déjà constaté avec le carbonate de calcium.

d. Etude de la dégradation hydrolytique

La dégradation hydrolytique du PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ a été suivie après vieillissement à 40°C / 100% HR. La Figure 2 récapitule les résultats obtenus pour le PBS, le PBS 10%Pripol (résultats présentés dans le chapitre 3) et le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃. L'amélioration de la stabilité face à l'hydrolyse qui avait été constatée en présence de 10% molaires de Pripol est encore plus accentuée avec la présence du carbonate de calcium. Ces résultats montrent qu'en plus du caractère hydrophobe apporté par le Pripol 1009, le carbonate de calcium neutralise les fonctions acide du copolymère.

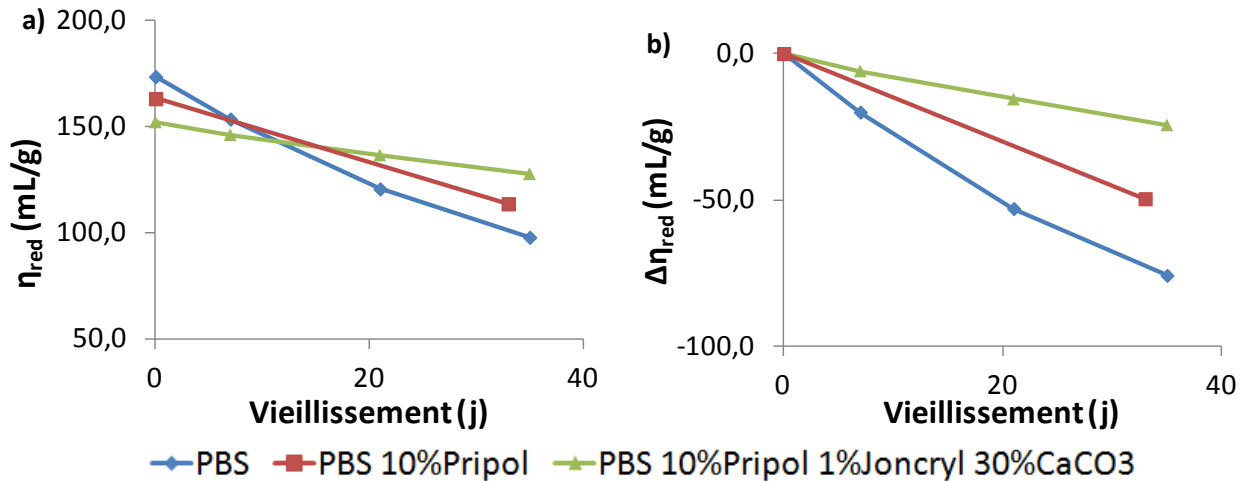


Figure 2 Evolution de la viscosité réduite (a) et de la variation de viscosité réduite (b) en fonction du temps de vieillissement à 40°C / 100% HR pour le PBS, le copolymère PBS 10% molaire Pripol et le mélange PBS 10% molaire Pripol, 1% massique Joncryl et 30% massique CaCO₃

L'évolution des propriétés mécaniques en fonction de la dégradation hydrolytique a été suivie sur des éprouvettes stockées à 40°C / 100% HR. La dégradation hydrolytique n'a pas d'influence significative sur le module d'Young. Il faut signaler que l'allongement à la rupture de départ du PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ n'est pas représentatif du comportement réel du matériau car la masse molaire du copolymère PBS 10%Pripol qui a été utilisé dans cette formulation avait diminué par dégradation hydrolytique au stockage du matériau. Cette masse molaire est alors proche de la masse molaire critique à partir de laquelle l'allongement à la rupture devient très faible, estimée à environ 24000 g/mol. Ce problème expérimental empêche quelque peu de tracer des conclusions définitives. Néanmoins, le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ possède un écoulement plastique pendant trois semaines contrairement au PBS, ce qui montre clairement une résistance à l'hydrolyse accrue du matériau.

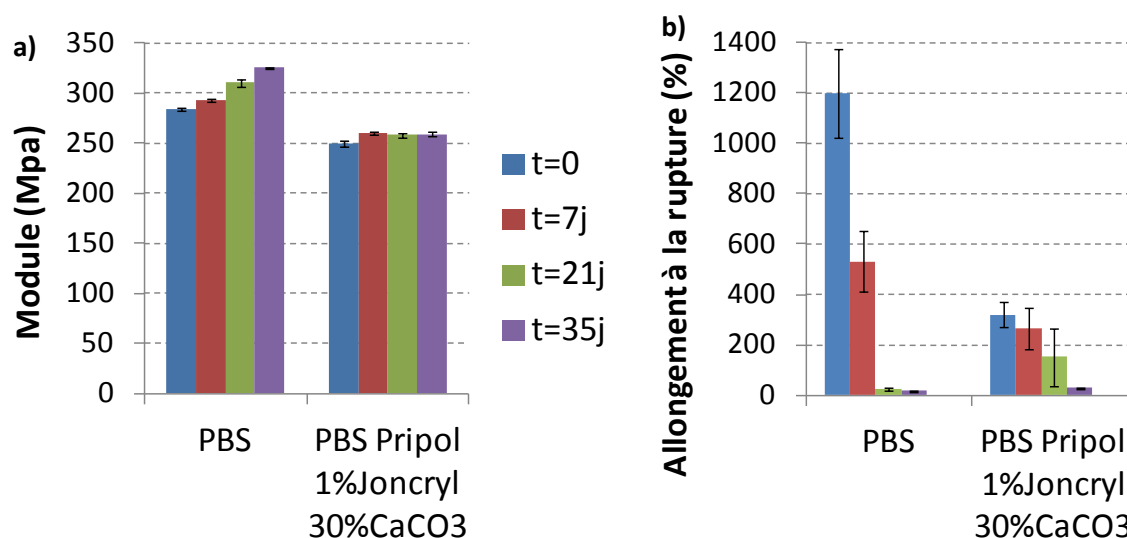


Figure 3 Evolution des propriétés mécaniques en traction en fonction du temps de vieillissement à 40°C / 100% HR pour le PBS et le mélange PBS 10% molaire Pripol, 1% massique Joncryl et 30% massique CaCO₃ (a) Module d'Young (b) Allongement à la rupture

3. Conclusion du mélange PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃

Le PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO₃ mis en œuvre a montré une amélioration significative de la résistance face à l'hydrolyse par rapport au PBS 10%Pripol, grâce à l'introduction de carbonate de calcium dans le matériau. Cependant, l'amélioration de la stabilité des propriétés mécaniques dans le temps n'a pu être évaluée que partiellement car le copolymère PBS 10% molaire Pripol utilisé présentait des propriétés mécaniques initiales détériorées par son stockage. Afin de confirmer l'amélioration de la stabilité, il faudrait synthétiser un copolymère PBS 10%Pripol « neuf » avec une masse molaire plus élevée. Comme cela a également été constaté, le Joncryl n'a pas pu jouer son rôle d'allongeur de chaîne lors de la mise en œuvre du matériau, dû à la neutralisation des fonctions acide réactives du copolymère avec le carbonate de calcium. Afin de palier ce problème, la mise en œuvre devrait être réalisée en deux étapes successives, la première consisterait à réaliser les allongements de chaînes par extrusion du copolymère PBS 10%Pripol avec les 1% massique de Joncryl, puis de réextruder le matériau formé en incorporant le carbonate de calcium dans la formulation. Une extrudeuse suffisamment longue pourrait permettre de réaliser les deux étapes en une seule fois.

III. Formulation à partir des mélanges PBS/PLA

Le chapitre 4 a mis en évidence l'amélioration importante des propriétés mécaniques du PBS par l'incorporation de PLA. Les mélanges avaient été mis en œuvre en présence de 1% massique de Joncryl de façon à améliorer la stabilité du mélange. Cependant, la stabilité des mélanges face à l'hydrolyse n'était pas améliorée significativement, seule une conservation des propriétés mécaniques avait pu être observée grâce à la présence de Joncryl qui avait conduit à des allongements de chaînes. L'idée ici est d'ajouter du carbonate de calcium.

1. Matériaux utilisés et mise en œuvre

Les PBS et PLA utilisés dans cette étude sont des polymères commerciaux déjà utilisés précédemment et dont les caractéristiques sont présentées dans le chapitre 4. Il s'agit du PBS Enpol 4560J de Ire Chemical et du PLA INGEO 3251D de Natureworks. Le carbonate de calcium utilisé est l'Hydrocarb 75T d'Omya et l'agent multifonctionnel est le Joncryl ADR 4368 de BASF.

Le mélange PBS/PLA 75/25 avec 1% massique de Joncryl et 5% massiques de CaCO_3 a été mis en œuvre sur extrudeuse Clextral à 180°C puis injecté sur presse pilote selon deux protocoles différents.

- ✓ Le premier mode opératoire a consisté à réaliser le mélange en une seule étape en prémélangeant les différents matériaux manuellement. Il est intéressant de noter que visuellement, nous avons constaté que le carbonate de calcium se fixe préférentiellement sur les granulés de PLA lors du prémélange manuel de ce procédé en une étape.
- ✓ Le second a consisté à réaliser le mélange en deux extrusions distinctes, la première faisant réagir le PBS, le PLA et 1% massique de Joncryl et la seconde permettant l'incorporation de 5% massiques de carbonate de calcium dans le mélange.

2. Propriétés des matériaux mis en œuvre

a. Viscosité réduite

La viscosité réduite permet de mettre en évidence les allongements de chaînes qui peuvent avoir lieu en présence de Joncryl. Les valeurs obtenues pour le mélange réalisé selon les deux modes opératoires différents sont comparées à celles du PBS, du PLA, du mélange PBS/PLA 75/25 et du mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl (cf. Tableau 3). Pour le procédé en une étape, on constate que la viscosité réduite de 211 mL/g est inférieure à celle obtenue pour le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl (sans carbonate de calcium) de 247 mL/g mais tout de même significativement supérieure

à celle du mélange PBS/PLA 75/25 s'élevant à 167 mL/g. Ces observations montrent que, lors du procédé en une étape, le Joncryl a augmenté la viscosité réduite du mélange mais de façon moins importante que sans la présence de carbonate de calcium. Le carbonate de calcium limite donc l'allongement de chaîne du PBS et du PLA en neutralisant les fins de chaînes acide. Le procédé en deux étapes a pour objectif de limiter ce phénomène, cependant la viscosité réduite obtenue est de 194 mL/g, donc inférieure à celle obtenue pour le procédé en une étape. Ce phénomène pourrait refléter que, comme observé visuellement, le carbonate de calcium va préférentiellement se rapprocher du PLA dans le mélange dans le cas du procédé en une étape, et n'empêche pas la réaction entre le Joncryl et le PBS pendant l'extrusion et pendant l'injection, et permet alors d'augmenter la masse molaire globale (car le PBS a une viscosité réduite de départ plus élevée que le PLA). Dans le cas du procédé en deux étapes, le Joncryl peut réagir à la fois avec le PBS et le PLA mais le carbonate de calcium ajouté par la suite empêche les réactions qui pourraient avoir lieu lors de l'injection.

Tableau 3 Récapitulatif des valeurs de viscosité réduite du PBS, du PLA, du mélange PBS/PLA 75/25, du mélange PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl et des mélanges PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl 5% massique CaCO₃ en une et deux étapes. Viscosité mesurée sur les éprouvettes après extrusion et injection.

	Viscosité réduite (mL/g)
PBS	182
PLA	117
PBS/PLA 75/25	167
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl	247
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 1 étape	211
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 2 étapes	194

b. Propriétés thermiques

Le taux de carbonate de calcium réel présent dans les deux mélanges réalisés a été déterminé par ATG sous air, conduisant à des pourcentages massiques de 4 et 5% en carbonate de calcium pour les mélanges réalisés en une étape et en deux étapes respectivement.

Des analyses DSC ont été réalisées afin d'étudier l'influence de l'incorporation de carbonate de calcium dans le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl ainsi que l'influence du procédé en une ou deux étapes. Les résultats ne montrent pas de différences significatives sur les températures caractéristiques et les enthalpies de cristallisation, comme le montre le Tableau 4. Les valeurs de cristallinité ont été calculées par rapport à la proportion réelle en PBS ou PLA, en tenant compte de la proportion réelle de carbonate de calcium, grâce à l'équation (1).

$$\chi_c = \frac{\Delta H_{f/c}}{\omega_{PBS/PLA} \times \Delta H_{0PBS/PLA}} \quad (1)$$

Où $\Delta H_{f/c}$ représente l'enthalpie de fusion ou de cristallisation

$\omega_{PBS} = 0,73$ ou $0,725$ pour les procédés en une et deux étapes respectivement tenant compte du taux de charge

$\omega_{PLA} = 0,23$ ou $0,225$ pour les procédés en une et deux étapes respectivement tenant compte du taux de charge

$\Delta H_{0PBS} = 210$ J/g

$\Delta H_{0PLA} = 93$ J/g

Tableau 4 Caractéristiques thermiques du mélange PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl et des mélanges PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl 5% massique CaCO₃ en une et deux étapes mesurées sur des éprouvettes après injection

	2 ^{ème} montée (PBS)				2 ^{ème} montée (PLA)				Descente (PBS)		
	Tg _{PBS} (°C)	Tf _{PBS} (°C)	ΔHf _{PBS} (J/g)	χ _c PBS (%)	Tg _{PLA} (°C)	Tf _{PLA} (°C)	ΔHf _{PLA} (J/g)	χ _c PLA (%)	Tc _{PBS} (°C)	ΔHc _{PBS} (J/g)	χ _c PBS (%)
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl	-34	113	47	30	NA	165	7	30	92	48	30
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 1 étape	-34	113	42	27	NA	165	7	33	91	45	29
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 2 étapes	-33	113	43	28	NA	165	6	29	92	43	28

c. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques en traction des mélanges PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃ mis en œuvre selon les deux procédés d'extrusion ont été comparées à celles des différents mélanges établis dans les chapitres précédents. Les mesures montrent que l'incorporation de 5% massiques de carbonate de calcium dans les mélanges PBS/PLA 75/25 1%Joncryl ne modifie pas les valeurs caractéristiques du matériau, et ce quel que soit le mode opératoire en une ou deux étapes. La formulation PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃ permet donc d'atteindre les propriétés mécaniques souhaitées.

Tableau 5 Caractéristiques mécaniques du PBS, du PLA, du mélange PBS/PLA 75/25, du mélange PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl et des mélanges PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl 5% massique CaCO₃ en une et deux étapes

	Module d'Young (MPa)	Contrainte au seuil (MPa)	Contrainte à la rupture (MPa)	Allongement à la rupture (%)
PBS	310	37	43	500
PLA	1400	69	69	7
PBS/PLA 75/25	560	35	42	540
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl	600	40	48	400
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 1 étape	580	39	43	430
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 2 étapes	550	39	43	390

d. Etude de la dégradation hydrolytique

L'objectif principal de l'incorporation de 5% massiques de carbonate de calcium dans le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl est de limiter la dégradation hydrolytique. Celle-ci a tout d'abord été suivie à travers la mesure de la viscosité réduite sur des éprouvettes stockées à 40°C / 100% HR et comparée au PBS et au mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl. Le chapitre 4 avait mis en évidence que le Joncryl accélérât la dégradation hydrolytique du PBS, même dans le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl. Les mélanges PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃ mis en œuvre selon les deux protocoles présentent des profils de dégradation différents. La formulation mise en œuvre en une étape limite

peu la dégradation hydrolytique du PBS, seule une légère amélioration est observée par l'incorporation de carbonate de calcium par rapport au mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl. Au contraire, lorsque la formulation est mise en œuvre en deux étapes, une amélioration significative de la stabilité face à l'hydrolyse est observée. Ces observations confirment le fait que le carbonate de calcium interagit préférentiellement avec le PLA lorsque l'extrusion est réalisée en une étape et ne permet pas de limiter la dégradation du PBS, alors qu'il est réparti uniformément dans le matériau lorsque l'extrusion est réalisée en deux étapes.

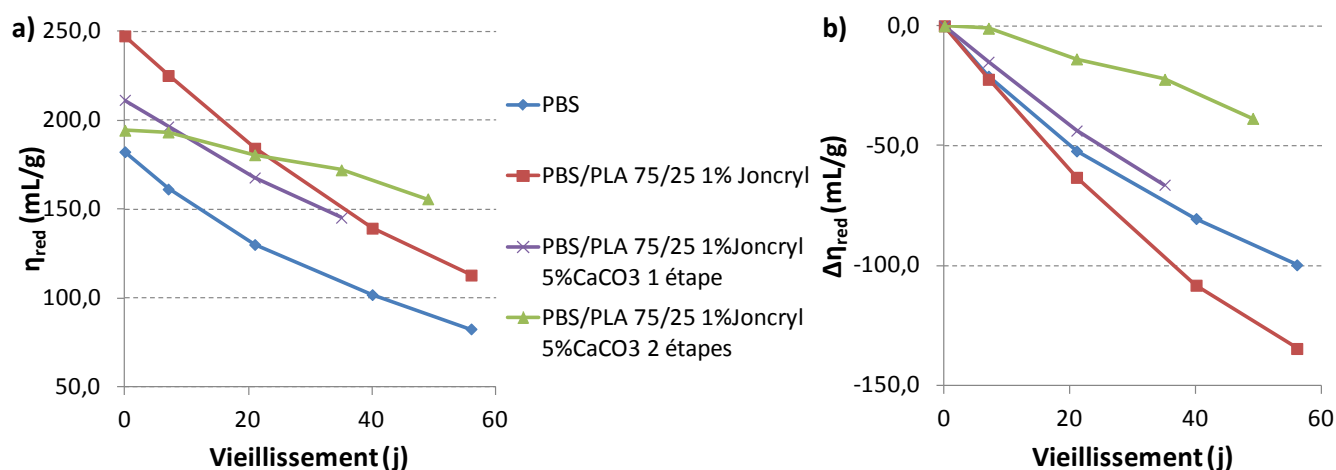


Figure 4 Evolution de la viscosité réduite (a) et de la variation de viscosité réduite (b) en fonction du temps de vieillissement à 40°C / 100% HR pour le PBS, le mélange PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl et les mélanges PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl 5% massique CaCO₃ en une et deux étapes

L'évolution des propriétés mécaniques des matériaux formulés avec le vieillissement à 40°C / 100% HR a été suivie et comparée à celle du PBS et du mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl. Les valeurs représentées à 35 jours pour le PBS et le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl sont en réalité celles à 40 jours car les mesures n'avaient pas été effectuées à 35 jours mais les valeurs sont proches de la réalité, le comportement des éprouvettes étant fragile à ce stade de vieillissement pour ces matériaux. On peut constater que l'incorporation de carbonate de calcium dans le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl par le procédé en une étape ne permet pas d'améliorer la stabilité de ce mélange. En effet, il n'y a plus d'écoulement plastique au bout de 35 jours de vieillissement. Au contraire, le procédé réalisé en deux étapes améliore significativement la stabilité face à l'hydrolyse et conserve de bonnes propriétés mécaniques pendant 35 jours de vieillissement à 40°C / 100% HR. Cette amélioration pourrait être encore plus visible en augmentant la masse molaire initiale du mélange.

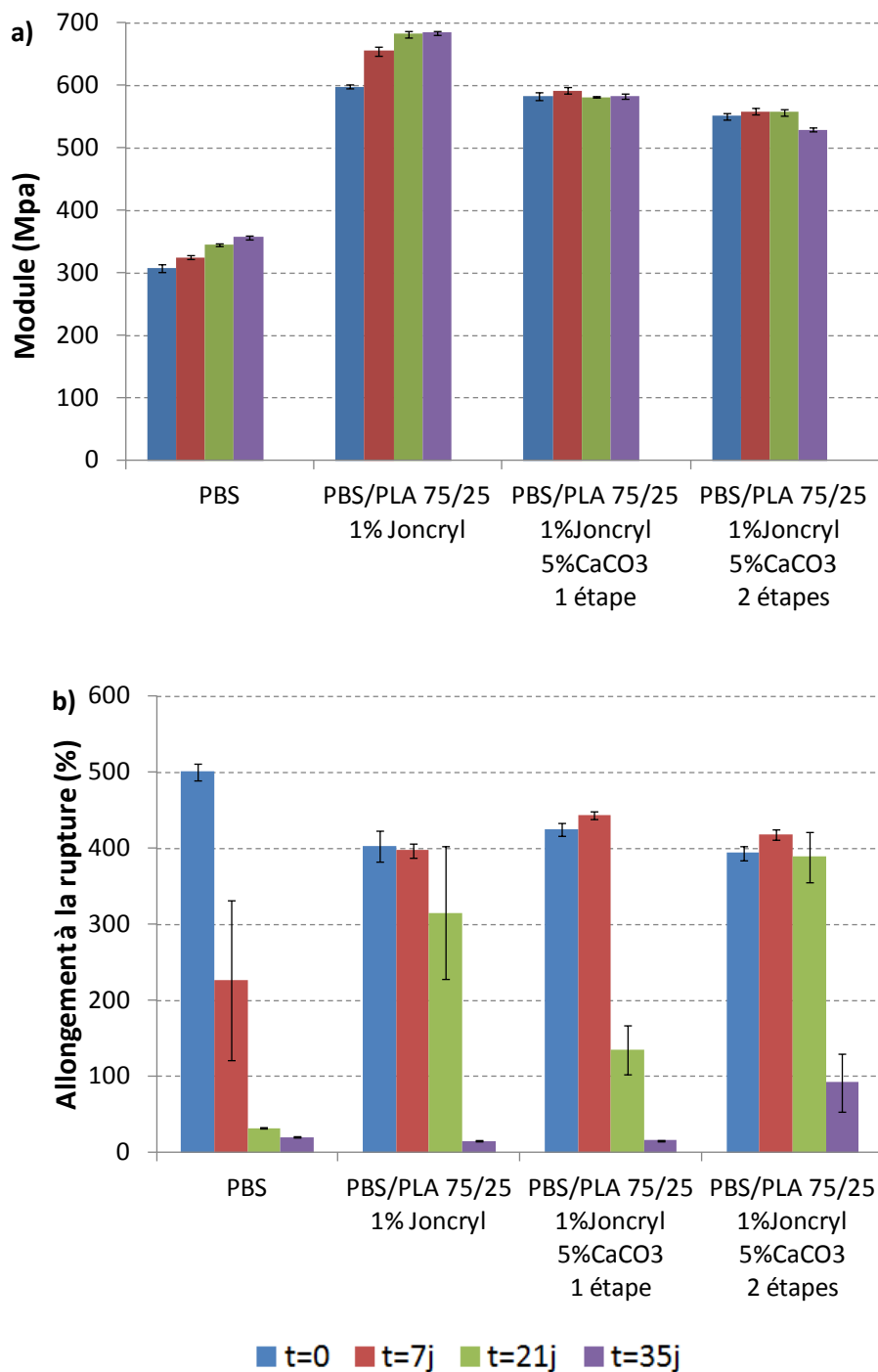


Figure 5 Evolution des propriétés mécaniques en fonction du temps de vieillissement à 40°C / 100% HR pour le PBS, le mélange PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl et les mélanges PBS/PLA 75/25 1% massique Joncryl 5% massique CaCO₃ en une et deux étapes (a) Module d'Young (b) Allongement à la rupture

3. Conclusion sur les mélanges PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃

Le mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃ réalisé en deux étapes a révélé une amélioration significative de la stabilité face à l'hydrolyse par rapport au PBS et au mélange PBS/PLA 75/25 1%Joncryl, tout en conservant de bonnes propriétés mécaniques. Néanmoins, la masse molaire initiale du mélange pourrait être augmentée en adoptant un profil d'extrusion différent ou en augmentant la température à 200°C afin de favoriser les réactions entre le Joncryl et les fonctions acide du PLA et du PBS sans trop dégrader le PBS, avant d'incorporer les 5% de carbonate de calcium. Cette méthode permettrait de s'éloigner encore plus de la masse molaire critique à partir de laquelle l'allongement à la rupture devient très faible et permettrait alors de conserver de bonnes propriétés mécaniques encore plus longtemps.

IV. Conclusion du chapitre 5

Ce chapitre a mis en évidence des méthodes efficaces pour limiter la dégradation hydrolytique du PBS, par combinaison des solutions les plus intéressantes établies dans les chapitres précédents.

	Module d'Young (MPa)	Contrainte au seuil (MPa)	Vitesse de dégradation
PBS 10%Pripol 1%Joncryl 30%CaCO ₃	↘	↘	↘↘
PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO ₃ 2 étapes	↗↗	↗	↘↘

Les deux solutions proposées sont efficaces pour limiter la dégradation hydrolytique. La formulation PBS/PLA 75/25 1%Joncryl 5%CaCO₃ réalisée en deux étapes permet d'améliorer les propriétés mécaniques. La formulation à base de Pripol, plus ductile, conviendrait pour une application nécessitant un module faible.