

Veille marché PHA

RAPPORT INTERMEDIAIRE



Version :			
Date :	28/06/2019		
REDACTEUR :	Claire JACQUET-LASSUS		
VERIFICATEUR :			
APPROBATEUR :			

Table des matières

1	Les biopolymères	3
1.1	Différentes familles.....	3
1.2	Quantités produites.....	5
1.3	Domaines d'application	6
2	Les PHA.....	10
2.1	Synthèse des PHA	10
2.2	Propriétés des PHA	11
2.3	Applications	13
2.4	Fournisseurs.....	14
2.5	Prix	15
2.6	Utilisation en agriculture	15
2.7	ACV.....	Erreur ! Signet non défini.

1 Les biopolymères

1.1 Différentes familles

Il existe 3 grands types de bioplastiques : les plastiques d'origine fossile et biodégradables (PBAT), ceux totalement ou partiellement biosourcés mais non biodégradables (PE, PP, PET, etc) et les plastiques possédant les 2 caractéristiques : biosourcés et biodégradables (PHA, PLA, Starch). La production annuelle de bioplastiques ne représente actuellement qu'1% de la production totale de plastique d'une valeur de 320 millions de tonnes).

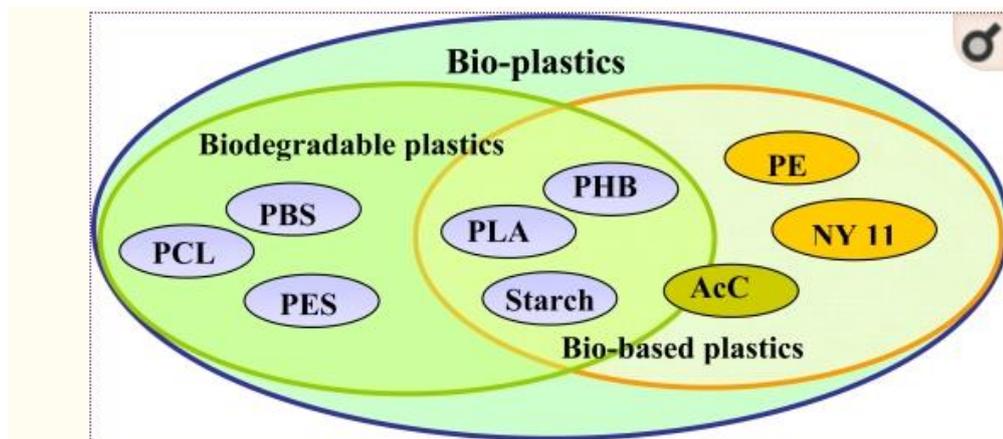


Figure 1.

Bio-plastics comprised of biodegradable plastics and bio-based plastics.

TOKIWA Y. and al ; Biodegradability of Plastics ; [En ligne] ; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/>

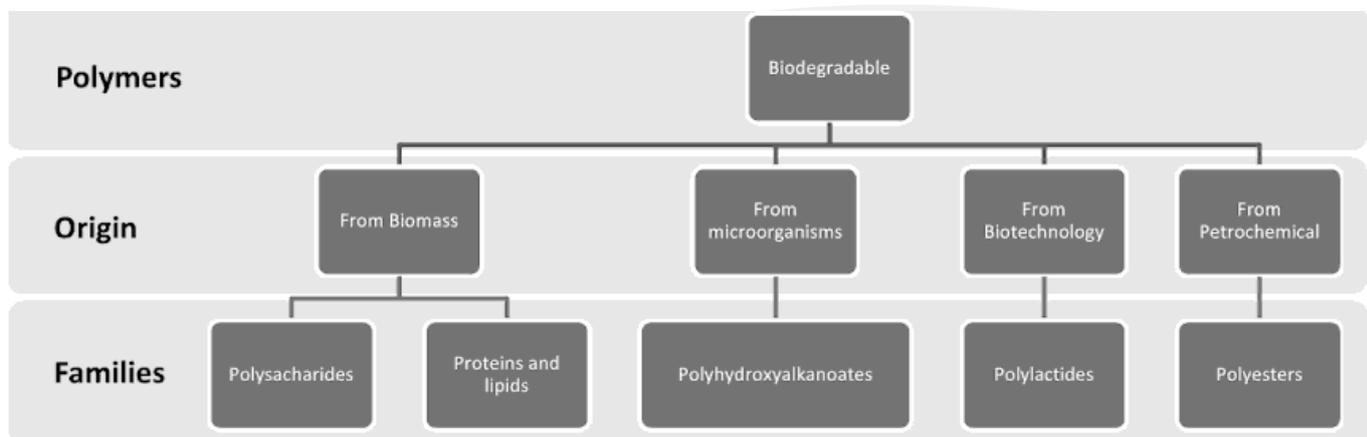


Figure 24.1 Biodegradable polymers organization based on structure and occurrence.

Le schéma ci-dessus souligne les différentes sources à l'origine des polymères biodégradables : à partir de biomasse, de microorganismes, via des biotechnologies ou, comme énoncé précédemment, d'origine pétrochimique.

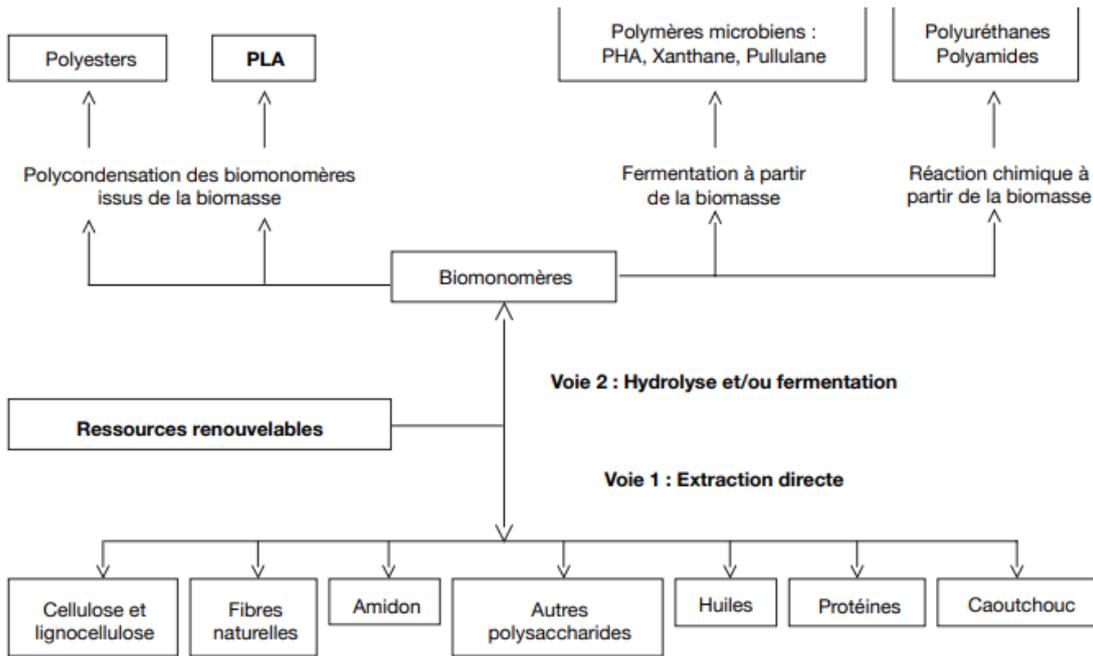


Figure 1. Les voies d'obtention des biopolymères végétaux — *Production pathway of plant-based polymers.*

http://www.cqmfscience.com/wp-content/uploads/2017/02/1_Elkoun_S_UdeS_biopolymeres-issus-du-vegetal.pdf

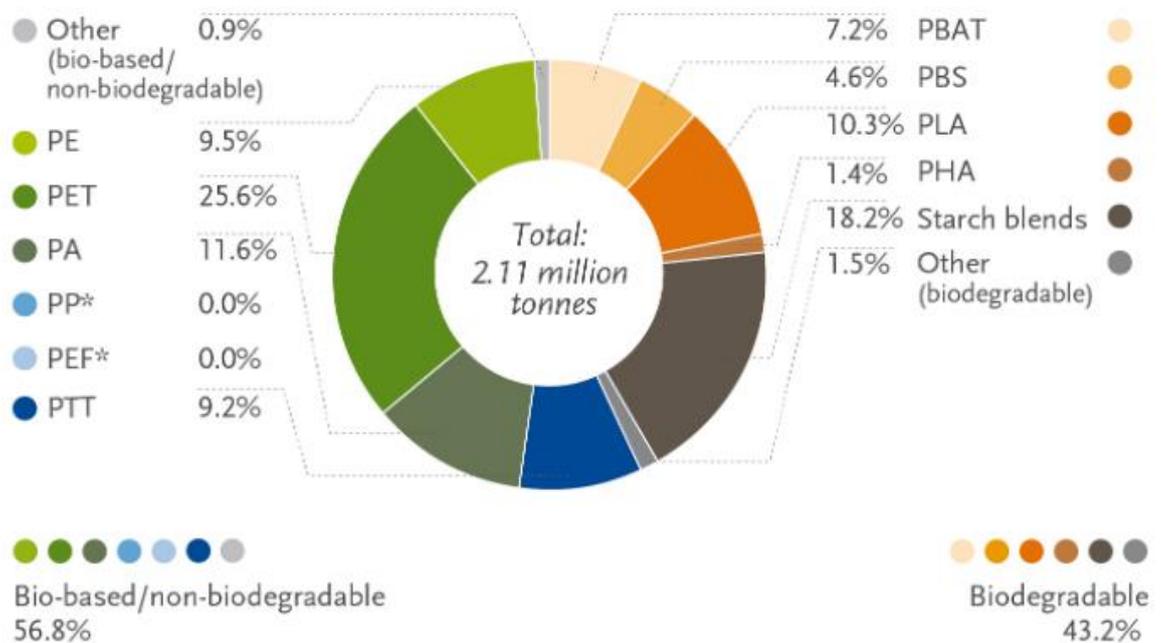
Ce schéma se focalise plus spécifiquement sur les biopolymères d'origine végétale en mettant en évidence les voies d'extraction et de récupération des substances.

Les PHA découlent en l'occurrence des microorganismes mais peuvent également être issus du monde végétal et sont produits par fermentation.

1.2 Quantités produites

Plus globalement, la production de plastiques biodégradables est en plein essor. Le diagramme suivant met en évidence la part de chacun de ces produits.

Global production capacities of bioplastics 2018 (by material type)



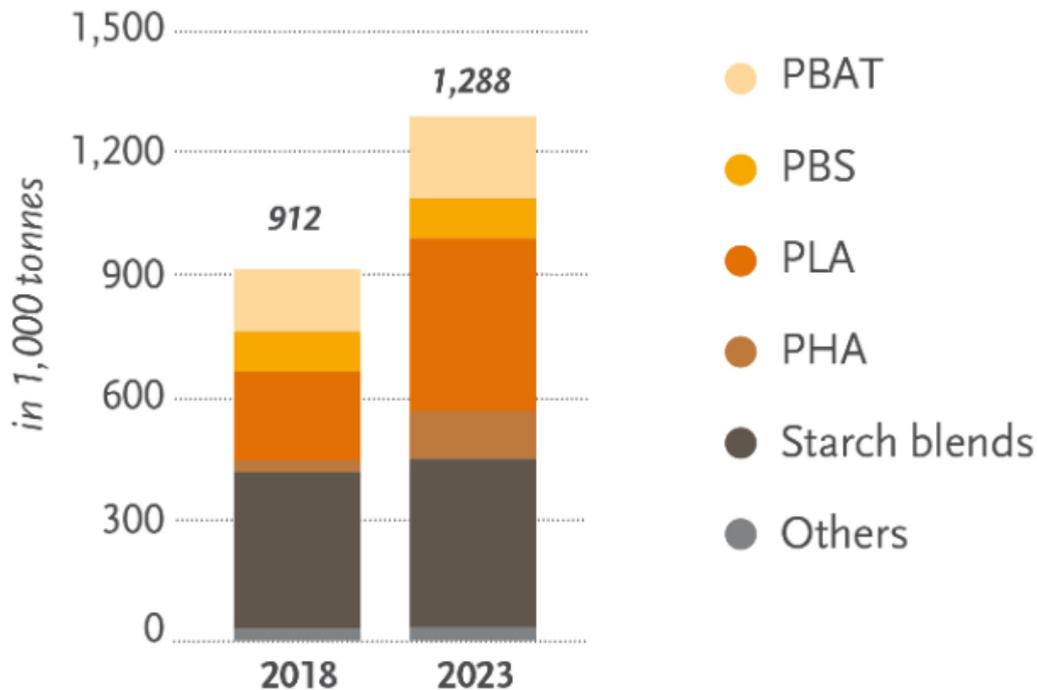
*Bio-based PP and PEF are currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2018)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

La production de PHA une très petite partie de la production des biopolymères, (seulement 1.4%) soit 30 000 tonnes en 2018.

Biodegradable bioplastics 2018 vs. 2023



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2018)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

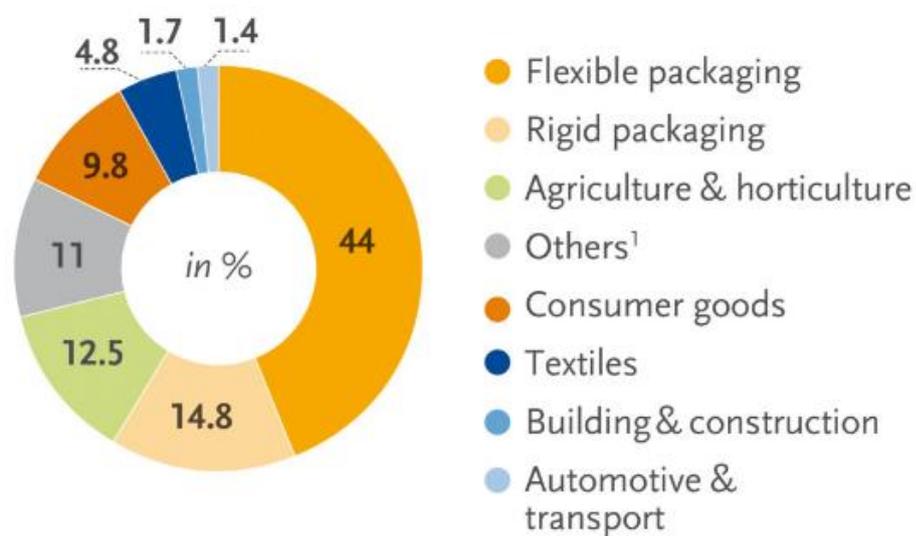
[European bioplastics ; Biodegradable plastics ; \[En ligne\] ; https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/](https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/)

La production de PHA pourrait être multipliée par 3 d'ici 2023 et atteindre 90 000 à 100 000 t/an.

1.3 Domaines d'application

Concernant les domaines d'application, les bioplastiques se retrouvent dans différents secteurs : produits électriques et électroniques, le bâtiment, l'agriculture, l'horticulture, l'automobile et les transports, le textile, les emballages souples et rigides (alimentation, etc). Les emballages représentent 60% de la production (690 600 tonnes pour les emballages rigides), plus de la moitié étant représentée par les plastiques biosourcés mais non biodégradables (PET, etc). Les biodégradables sont minoritaires mais se développent. Ils sont surtout représentés dans le secteur des emballages (cas du PHA par exemple). Les emballages rigides concernent les produits cosmétiques (crèmes, etc), les bouteilles et les emballages souples sont plutôt affectés au domaine alimentaire (fruits et légumes) (cf diagrammes ci-dessous).

Biodegradable plastics (by market segment) 2017



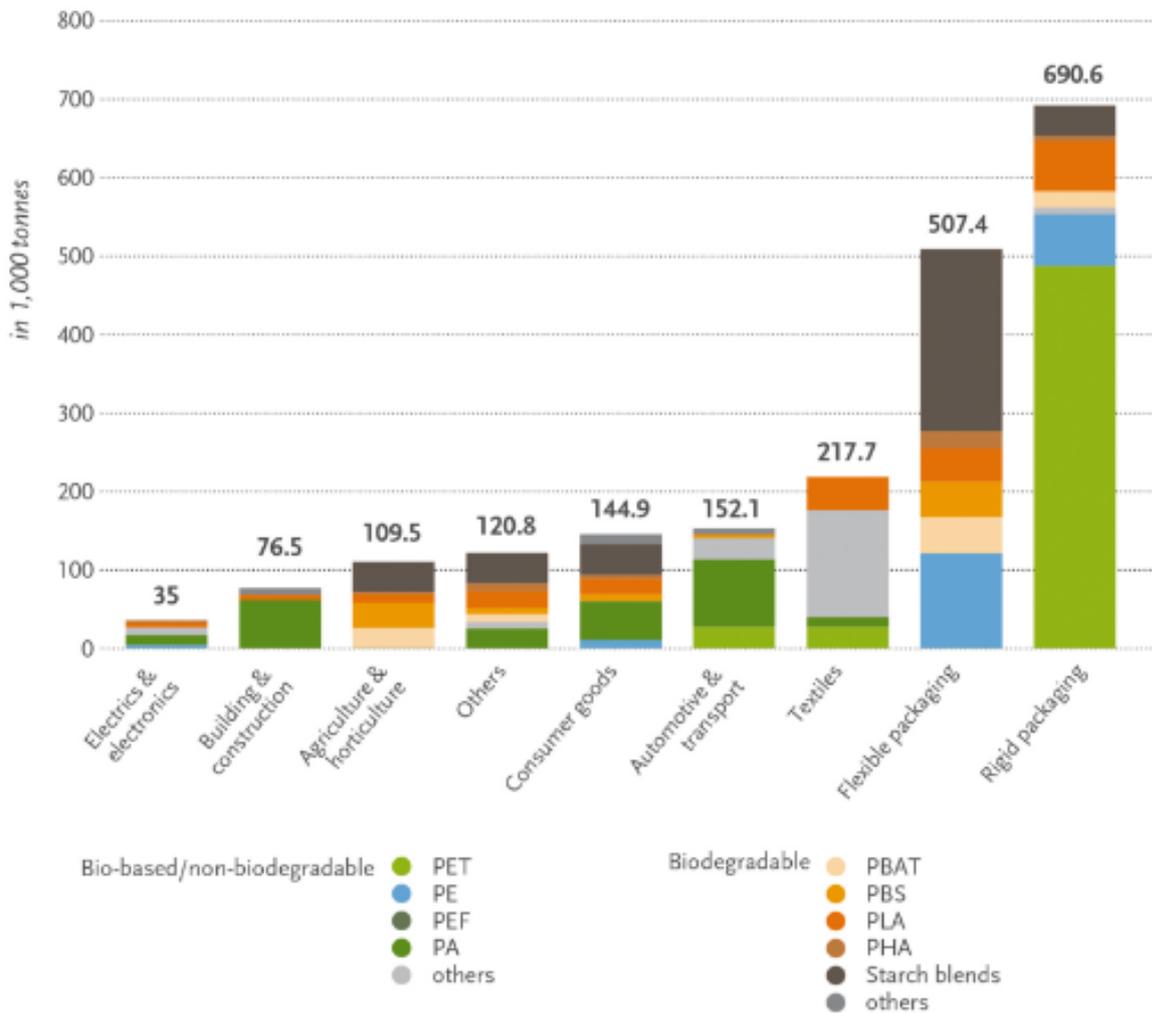
¹ Including functional applications, and electric & electronics

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017).

More information: www.bio-based.eu/markets and www.european-bioplastics.org/market

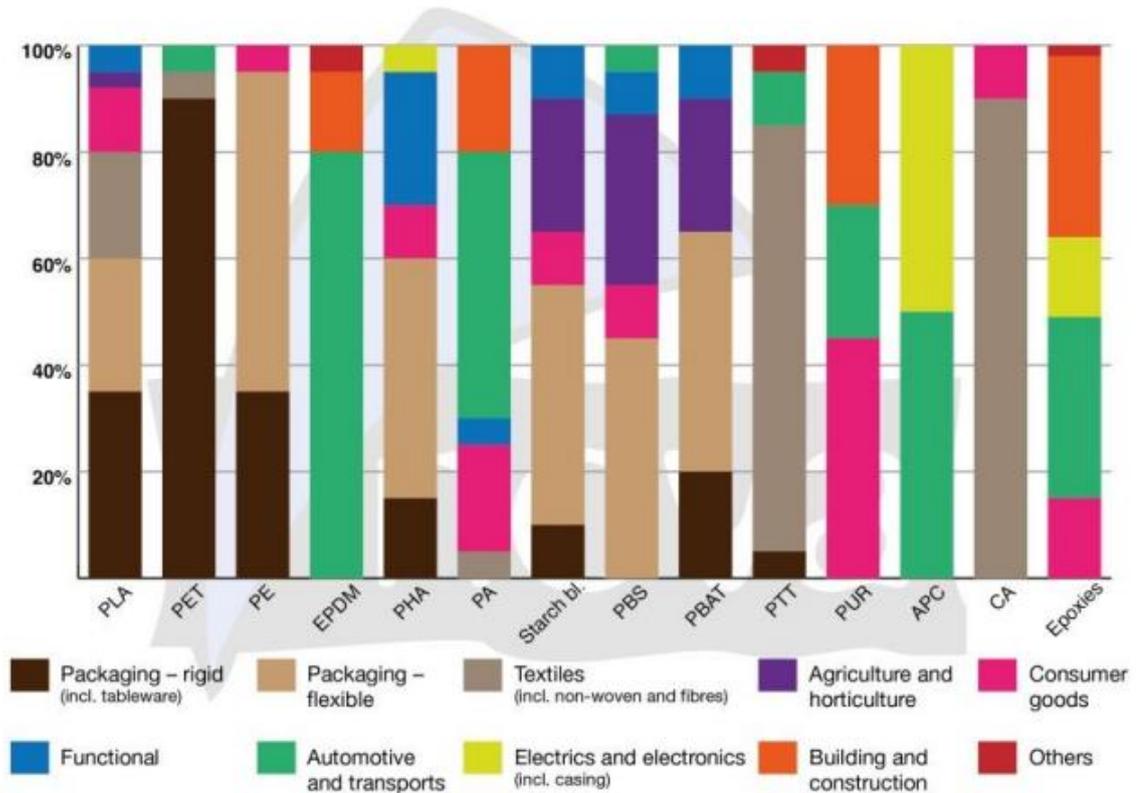
Actuellement, la production de plastiques biosourcés prédomine par rapport à celle de plastiques biodégradables. Ces derniers présentent donc un potentiel intéressant pour stimuler les recherches les concernant.

Global production capacities of bioplastics 2017 (by market segment)



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017). More information: www.bio-based.eu/markets and www.european-bioplastics.org/market

Shares of market segments per bio-based polymer in 2014



© NOVA-Institut.eu | 2015

Full study available at www.bio-based.eu/markets

[CARUS M ad al, Nova Institute](#) ; Market study on bio-based building blocks and polymers in the world - Capacities, production and applications: status quo and trends toward 2020 & Environmental aspects & CO₂-based polymers ; https://www.effizienz-forum-wirtschaft.de/uploads/vortragsprogramm_2016/16-03%20Bio-%20and%20CO2%20based%20polymers%20-%20market%20study%20nova.pdf ; 41p

En agriculture, l'utilisation de bioplastiques est prometteuse en ce qui concerne les films de paillage (ramassage et traitement inutile après utilisation du film, décomposition sur place), les pots de plantes (dégradation progressive avec la croissance de la plante), les tuyaux d'irrigation, de drainage, pièges à phéromones, les ficelles employées en horticulture. Il peut également permettre la libération régulée et contrôlée de pesticides ou fertilisants.

Le domaine de l'électronique présente aussi de grandes opportunités : plusieurs pièces d'une durée de vie limitée peuvent être faites (tout au moins partiellement) de bioplastique : pièces du clavier, souris d'ordinateur, revêtement de l'écran d'ordinateur, etc. concernant l'automobile, des tableaux de bord font l'objet d'études et de recherche pour concrétiser une fabrication à base de bioplastiques.

En effet, les polymères biodégradables sont utilisés dans le respect de critères spécifiques : objet d'une durée de vie limitée, sacs de déchets destinés au compostage, des situations impliquant des mesures d'hygiène, de stérilisation strictes comme dans le domaine médical.

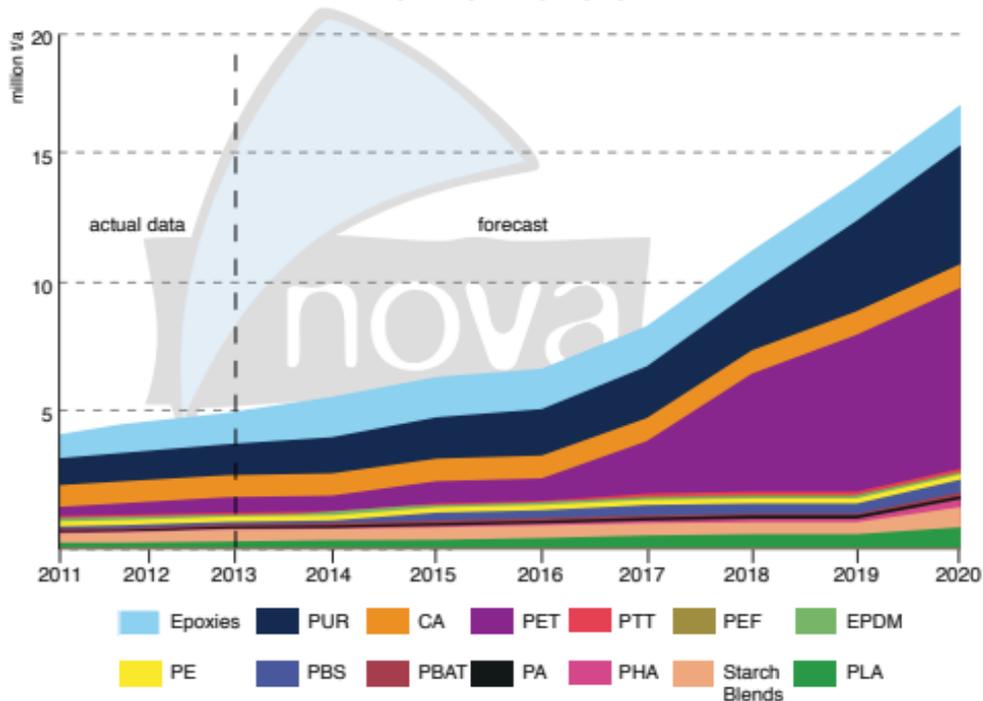
Les biopolymères sont aussi pour la plupart perméables à la vapeur d'eau. Leur propriété de biocompatibilité (fonction remplie sans engendrer de dommages ou d'effets indésirables dans le milieu biologique environnant) leur permet d'être utilisés dans le milieu médical : décomposition naturelle dans l'organisme laissant place au tissu naturel.

2 Les PHA

2.1 Synthèse des PHA

En 2013, la capacité de production était de 32 000 tonnes.

Bio-based polymers: Evolution of worldwide production capacities from 2011 to 2020



Aeschelmann F. and al, Nova Institute ; *Bio-based Building Blocks and Polymers in the World Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020* ; http://www.bio-based.eu/market_study/media/files/15-05-13_Bio-based_Polymers_and_Building_Blocks_in_the_World-nova_Booklet.pdf ; 2015 ; 13p.

Les PHAs sont des polyesters aliphatiques. Ils regroupent plusieurs types de monomères ; la polymérisation a lieu lors du stockage. Il en existe plus de 100 types différents. Une enzyme permet la production de PHA : la PHA synthase. Lors de l'étape de production, cette substance s'accumule dans les cellules bactériennes sous l'effet d'un stress nutritif (azote, phosphore, magnésium, ...) et représente jusqu'à 90% du poids sec. Les granules, d'une taille de 0,5 µm, s'accumulent dans le cytoplasme. Elles sont produites par fermentation. Ces granules constituent alors une source de carbone et d'énergie. Le PHB peut également être présent dans le cytoplasme. Il existe différentes voies de production de PHA en fonction du milieu de vie du micro-organisme impliqué dans sa fabrication.

Plus de 300 types de microorganismes sont aptes à accumuler le PHA. Il existe 2 catégories de bactéries : des bactéries capables naturellement de biosynthétiser les PHAs et des bactéries « recombinées » et qui ont donc acquis la capacité d'en produire. Les bactéries

possédant naturellement cette aptitude sont souvent difficiles à lyser et ont un cycle de développement relativement long, ce qui

est moins fréquent chez les bactéries « modifiées » : la lyse est plus facile ce qui rend la purification du PHA moins coûteuse. C'est par exemple le cas d'*E. coli*. 2 leviers d'action sont possibles pour réduire les coûts : l'introduction du gène pour la biosynthèse du PHA chez les bactéries qui ne possèdent pas naturellement cette aptitude ou alors permettre aux bactéries qui en produisent naturellement d'en synthétiser à partir d'autres substrats peu onéreux (petit-lait, etc). Les sources de carbone sont variées : glucose, molasse, fructose, méthanol, lipides, etc.

Les types de PHA produits sont variés : le plus courant est le PHB (température de fusion = 180°C), P(3VB), PHBV (température de fusion = 137°C), PHBH,...

Les organismes capables de synthétiser du PHA possèdent les 2 types d'enzymes : PHA polymérase qui permettent la production de PHA et la PHA dépolymérase qui provoque sa dégradation.

Malgré les grandes capacités de production de PHA par les bactéries, le coût de production reste très élevé et n'est pas compétitif avec les plastiques issus du pétrole (5 à 10 fois plus cher).

Le PHA peut également être produit à partir de plantes génétiquement modifiées. Des gènes bactériens permettant la synthèse du polymère en question leur ont été transférés. Le taux d'accumulation est de 8-14% du poids sec pour les polymères à chaîne courte et de 0,4% du poids sec pour les polymères à chaîne moyenne. Des études sont en cours pour développer cette filière et augmenter les performances et les rendements.

La 3^e voie de production de PHA se fait par digestion anaérobie de déchets biologiques (déchets municipaux par exemple). Les molécules sont d'abord hydrolysées puis métabolisées en AGV (acides gras volatiles) qui sont en réalité des précurseurs de la fabrication de PHA.

2.2 Propriétés des PHA

Concernant les propriétés physiques, les PHA avec des monomères de courte chaîne (3 à 5 atomes C) sont rigides tandis que les monomères à chaîne moyenne (6 à 14 atomes C) les rendent plus souples.

Les PHA possèdent des propriétés thermoplastiques, ils sont biodégradables et non-toxiques. Ils sont insolubles dans l'eau et possèdent un haut niveau de polymérisation. Du fait de leur densité supérieure à celle de l'eau, les PHA ont de bonnes aptitudes à la biodégradation en absence d'air, dans les sédiments. La température de fusion T_m est de 160-175°C.

Le PHB est insoluble dans l'eau, résistant à l'hydrolyse et aux UV mais n'est pas transparent, est peu résistant aux acides et bases et est cassant. Il est également sensible à une longue exposition à de fortes températures (180°C).

Les tableaux et diagrammes ci-dessous présentent certaines propriétés des PHAs et dérivés. Par ailleurs, les propriétés de différents grades de PHA issues des fiches techniques des fournisseurs sont données en annexe.

	PHB	PHBV	PHBHx	MCL-PHA
Tm (°C)	170 to 180	130 to 170	95 to 150	40 to 60
Tg (°C)	-5 to 5	-10 to 0	-3 to -1	-60 to -30
Mw x 10 ³ (g mol ⁻¹)	Up to 1500	Up to 1200	/	50 to 300
Density (g cm ⁻³)	1.24	1.20	/	1.02
Crystallinity (%)	60 to 80	30 to 80	10 to 50	Up to 30
Tensile strength (MPa)	40	30 to 40	/	Up to 10
Young's modulus (MPa)	3.5 to 4 x 10 ³	0.7 to 3 x 10 ³	500 (10%HHx)	Up to 15
Elongation to break (%)	3 to 8	Up to 100	Up to 400	Up to 450

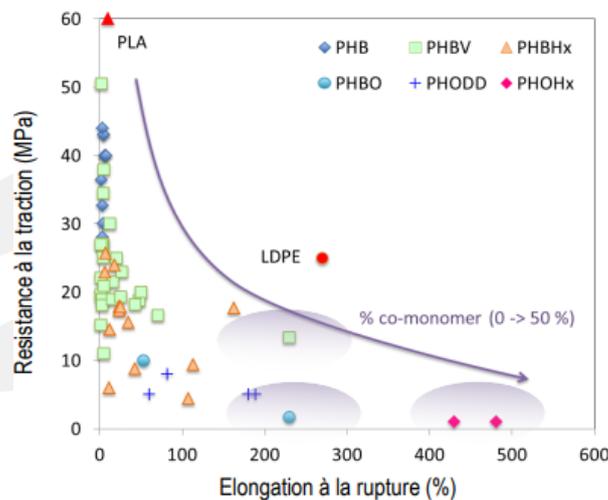
PolyFerm Canada ; General Properties ; [En ligne] ; http://www.polyfermcanada.com/pha_properties.html ; Consulté le 09.07.18

	(Biomer PL9000)	(Biomer P226)	3HV (Biopol)	co-3HHx	Biocycle
Physical properties					
Melt flow rate (g/10 min)	38	5-7	9-13	0.1-100	43.74
Density (g/cm ³)	1.25	1.25	1.25	1.07-1.25	1.23
Mechanical properties					
Tensile strength at yield (MPa)		24			32
Elongation at yield (%)	2.4	19			1.89
Flexular Modulus (MPa)	35	1750			2710
Thermal Properties					
HDT (°C)					
Vicat softening point (°C)	56	96			

Table 12. Some thermomechanical properties of polyhydroxyalkanoates.

KOSIOR E. ; *Lightweight compostable packaging : Literature review* ; 49p. ; Rapport ; 2006 ; http://bc.bangor.ac.uk/_includes/docs/pdf/lightweight%20compostable%20packaging.pdf

monomères + longs → + flexibilité et résistance



PEREZ-RIVERO C. and al ; Ingénierie de consortia microbiens pour la production de bioplastiques du type mcl-PHA ; Carrefour de l'Innovation ; Paris ; 2017

2.3 Applications

Les applications sont diverses :

- Les emballages : films d'emballage (sacs, revêtements papier, etc), produits jetables, à usage unique, rasoirs, ustensiles de cuisine, appareils électroniques, produits d'hygiène, emballages de cosmétiques, shampoings.
- Le PHA est également présent dans les biens de consommation et dans le domaine des appareils électriques et électroniques.

La littérature présente d'autres domaines d'application du PHA bien que le potentiel de ce dernier n'y soit pas encore exploité :

- Le domaine médical (implant vasculaire, support de base pour la croissance osseuse (ostéosynthèse), fil de suture, composant des vêtements et appareils médicaux, régulateur de la libération de substances médicamenteuses dans l'organisme, etc).
- Fibres dans le domaine du textile
- Unités de base dans l'industrie chimique. Le PHA dépolymérisé peut également être utilisé (directement ou après estérification) en industrie chimique.
- L'agriculture (pots horticoles, ficelles, bâches)

L'efficacité de la biodégradabilité du PHA dépend de plusieurs facteurs comme l'activité microbienne, le pH, l'humidité, etc. En fonction du type de monomère, cette dégradation sera plus ou moins rapide et facilitée. Les enzymes sécrétées par les microorganismes déstructurent le polymère en unités individuelles qui sont en réalité des sources de carbone.

En fonction des conditions de dégradation, les substances libérées diffèrent : de l'eau et du CO₂ en conditions aérobies et du CO₂ et CH₄ en conditions anaérobies.

Le compostage est une autre voie de dégradation, à une température maximale de 60° pour une humidité de 55%). Selon certaines études, 85% du PHA est dégradé en 7 semaines.

Le milieu aqueux est également propice à la dégradation du PHA (moins de 254 jours pour une température n'excédant pas 6°C).

2.4 Fournisseurs

Producteurs	Nom commercial	Produit	Quantité	Pays
Micromidas				
E. W. Kaufmann Company	PHA, PHBV Biopolymers			
Bioplastech Ltd	Biopolymères à partir de PHA à chaîne moyenne			Irlande
Bio-Fed	PHA	Mvera™ B5002 Mvera™ B5010		Allemagne
Danimer Scientific	PHA de chaîne moyenne			USA
Kaneka Corporation		AONILEX (PHB-PHHx)	3 500 t/an	Japon
P1G Chemicals	Nodax™	PHB-H		
Biomer	Biomer	Biomer P209 Biomer P226 Biomer P240 Biomer P300 Biomer P304 (PHB)		Allemagne
PM Plastic	PHA, PHVB biopolymères			
Metabolix	Mirel	Mirel P2001 PHB, PHA à chaîne moyenne		
ADM (en association avec Metabolix)				
AIMPLAS				Espagne
Bio-on	MINERV-PHA™	MINERV-SB™ Minerv-SC™	10 000 t/an	Italie
Tianjin, GreenBio Materials Co			10 000 t/an	Chine
Shenzhen Ecomann Biotechnology Co		Ecomann Bioresin EM10000, EM10040, EM10050, EM20000 EM20010	5 000 t/an (PHA+PLA)	Chine
NewLight Technologies		AirCarbon™ (PHA résines)		USA
BioMateria	PHA	sous forme de poudre, crème, gel, films, granulés, films agricoles		Canada
Tianan Biologic	PHB, PHBV	ENMAT Y1000 (PHBV, poudre) ENMAT Y1010 (PHBV, poudre) ENMAT Y1000P (PHBV, pellet) ENMAT Y3000P (PHB, pellet)		Chine Plusieurs applications sont possibles (traitement de l'eau [dénitrification], fibres, ...)
PHB Industrial	PHB, PHBV	(à partir de sucre de canne)	50 t/an	Brésil
Mitsubishi Gas Chemicals	Biogreen	Biogreen		Japon
GF Biochemicals				
Mango Materials	Production de PHA à partir de CH4			
SIRIM			2 000 L de différents PHA	Malaisie
PolyFerm Canada		VersaMer mclPHA		Canada
ICI Ltd	PHB, PHBV			
WF Grace and Co				

Informations collectées sur les sites de producteurs et dans les sources suivantes : [KUMAR THAKUR V. and al ; Handbook of Sustainable Polymers: Processing and Applications ; 1e édition ; 2015 ; 988p](#)
[BPI Bio Plastics Info ; Compagnies concerned ; \[En ligne\] ; http://bioplasticsinfo.com/polyhydroxy-alkonates/companies-concerned/ ; Consulté le 05.07.18](#)

A priori en 2019, il existe 2 principaux producteurs de PHA en ASIE, chez qui s'approvisionnent les revendeurs français.

2.5 Prix

Producers and costs

Company	Product	Prod. kt/y 2006
METABOLIX	Biopol®	50
PROCTER&GAMBEL	Nodax®	
BIOMER	biomer®	0,5
PHB industrial		10*
MITSUBISHI GAS CHEM.	biogreen	
BIOMATERA inc.		

* blends et composites

Cost

10 €/kg (Biopol : 2.5€-2008)

50% = carbon source and 50% = fermentation and down stream processing

[NATISS Native for Innovative and Sustainable Solutions ; http://www.ensc-lille.fr/actu/GCI/paternostre.pdf](http://www.ensc-lille.fr/actu/GCI/paternostre.pdf) ; Villeneuve d'Ascq ; 2007

Le coût dépend du substrat d'origine.

En 2014, le prix du marché du PHA était de 4-5€/kg.

En 2018 les coûts annoncés

- par la société BIOFED sont 5 à 6€/kg en camion complet
- par Naturplast 8€/kg pour des quantités industrielles (15 à 20 tonnes/an), 8.70€/kg en Bigbag et 13€/kg pour des sacs de 25kg.

2.6 Utilisation en agriculture

Le PHA n'est pas encore utilisé en agriculture. Cependant, des potentialités existent : la libération contrôlée d'azote contenu dans une matrice faite en P(3HB) a été suivie en parallèle de la désintégration du polymère. Les effets sur la vie du sol et la croissance de la végétation se sont avérés positifs.

Par ailleurs, d'autres recherches ont été menées pour réguler la libération d'un herbicide, le métribuzine (MET).

La littérature présente diverses applications possibles dans le secteur agricole

2.7 Synthèse

Malgré les éléments prometteurs soulignés dans la littérature, il existe encore très peu d'applications des PHA sous forme de pièces. Ils sont utilisés essentiellement comme additifs d'autres polymères biosourcés biodégradables (comme plastifiant, fluidifiant, ou encore pour donner des fonctions particulières puisqu'il se dégrade au cours du temps) ou en mélange comme composant secondaire, mais pas en remplacement d'un autre polymère.

Il est par exemple utilisé dans le compoundage pour optimiser le PLA.

Il a un potentiel de développement très important dans l'emballage, mais aujourd'hui son prix est trop élevé par rapport à un PE, ou un Amidon thermoplastique.

Il existe aujourd'hui un fil PLA/PHA pour l'impression 3D, il a également un potentiel d'application à courts termes en cosmétique comme agent exfoliant (en remplacement du PE).

Le marché des PLA quand il n'est pas vendu comme additif d'un autre polymère est un marché de recherche et développement. Les plasturgistes test ce nouveau matériau en petite quantité pour des applications comme les capsules de café par exemple ou encore dans des applications d'emballage.

Les PHA sont testés aujourd'hui essentiellement sur des outillages qui ont été développés pour d'autres polymères, ce qui nécessite souvent d'augmenter les temps de refroidissement sur la chaîne de production pour pouvoir maîtriser la cristallisation qui est très lente. Ce temps de cycle long augmente encore le coût de revient de la pièce moulée et pénalise donc encore davantage l'utilisation du PHA.

Il reste donc encore des travaux de recherche et développement à réaliser pour améliorer les caractéristiques du PHA et sa moulabilité. D'autant que de nombreux travaux sont engagés aujourd'hui pour rendre le PLA biodégradable en compost domestique.

Bibliographie

- Aeschelmann F. and al, Nova Institute ; *Bio-based Building Blocks and Polymers in the World Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020* ; 2015 ; 13p.
- [BPI Bio Plastics Info ; Compagnies concerned ; \[En ligne\] ; http://bioplasticsinfo.com/polyhydroxy-alkonates/companies-concerned/ ; Consulté le 05.07.18](http://bioplasticsinfo.com/polyhydroxy-alkonates/companies-concerned/)
- [BERTHE V. ; Développement de mélanges à base de polylactide à durée de vie contrôlée. Étude des relations microstructure / propriétés / mise en œuvre ; 393p. ; Thèse ; Mines ParisTech ; 2010](#)
- [CARUS M. ad al, Nova Institute ; Market study on bio-based building blocks and polymers in the world - Capacities, production and applications: status quo and trends toward 2020 & Environmental aspects & CO2 -based polymers ; 41p.](#)
- [European bioplastics ; Biodegradable plastics ; \[En ligne\] ; https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/ ; Consulté le 14.06.18](https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/)
- [KOSIOR E. ; Lightweight compostable packaging : Literature review ; 49p. ; Rapport ; 2006](#)
- [KUMAR THAKUR V. and al ; Handbook of Sustainable Polymers: Processing and Applications ; 1e edition ; 2015 ; 988p.](#)
- [NATISS Native for Innovative and Sustainable Solutions ; http://www.ensc-lille.fr/actu/GCI/paternostre.pdf ; Villeneuve d'Ascq ; 2007](http://www.ensc-lille.fr/actu/GCI/paternostre.pdf)
- [ONG S.Y et al ; Degradation of Polyhydroxyalkanoate \(PHA\): a Review ; Journal of Siberian Federal University ; 2017 ; 16p.](#)
- PEREZ-RIVERO C. and al ; Ingénierie de consortia microbiens pour la production de bioplastiques du type mcl-PHA ; Carrefour de l'Innovation ; Paris ; 2017
- PolyFerm Canada ; General Properties ; [En ligne] ; http://www.polyfermcanada.com/pha_properties.html ; Consulté le 09.07.18
- [REDDY C.S.K et al ; Polyhydroxyalkanoates: an overview ; Bioresource Technology ; Elsevier ; 2003 ; Base de données : ScienceDirect ; https://ac.els-cdn.com/S0960852402002122/1-s2.0-S0960852402002122-main.pdf?_tid=6a10f7a6-9d1b-485e-b6b5-54651fc0f40a&acdnat=1532590289_d806d2dd7257d7416b6b7577373fd216](#)
- TOKIWA Y. and al ; Biodegradability of Plastics ; [En ligne] ; [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/ ; Consulté le 20.06.18](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769161/)

3 Annexes :

Tableau de propriétés de différents PHA/PHB :

propriétés (Metric)		Biomer P209 PHB Biodegradable Polymer	Biomer P226 PHB Biodegradable Polymer	Biomer P300 PHB Biodegradable Polymer	Biomer P304 PHB Biodegradable Polymer
Physiques	densité	12,0 g/cc	1,25 g/cc		1,20 g/cc
	densité de volume				
	Absorption d'humidité à	0,75%	0,40%		
	Rétrécissement de moule linéaire	0,013 cm/cm	0,013 cm/cm	0,013 cm/cm	0,013 cm/cm
	Flux de fusion	17 - 20 g/ 10 min	9 - 13 g/ 10 min		
	déformation	4,7% à la rupture de flexion	6,6 % à la rupture de flexion		2,5% à la rupture de flexion
	Transmission de la vapeur d'eau				
	Taux de transmission de				
	Masse moléculaire				
Mécanique	Cristalinité				
	dureté	57	67		69
	Résistance à la	15 - 20 Mpa	24 - 27 Mpa	28 Mpa	25 - 28 Mpa
	Allongement à la rupture	11 - 18 %	6 - 9 %	11%	8 - 15 %
	Module d'élasticité	0,9 - 1,2 Gpa	1,70 - 2 Gpa	1,85 Gpa	1,3 - 1,5 Gpa
	Résistance à la	18 Mpa	35 Mpa		31 Mpa
	Résistance au rendement en flexion	16 Mpa à 3,5 %	29 Mpa		
	Impact Charpy non encoché	2,1 J/cm2	3 J/cm2		5 - 6 J/cm2 (ISO 1791eU)
	Impact charpie, encoché	0,21 J/cm2	0,27 J/cm2		
	Izod impact, non encoché				
	Izod impact, encoché				
	Résistance à la traction du film au rendement, MD				
	Résistance à la traction du film au rendement, TD				
	Élongation du film à la rupture, MD				
	Élongation du film à la rupture, TD				
	Module Secant, MD				
Module Secant, TD					
Thermique	module de traction				
	Température maximale de service,	120 °C	120 °C	120 °C	120 °C
	Point de ramollissement Vicat	57 °C	96 °C		150 °C
	Température minimale de service,	-30 °C	-30°C	-30°C	-30 °C
	Température de déviation à 1,8 MPa (264 psi)				80 - 100 °C (ISO 75/A)
Température de					

proprietés (Metric)	PHA+PHB sur	PHB				PHA		
		Goodfellow Polihydroxybutyrate - Biopolimer PHB	Goodfellow Polihydroxybutyrate / Polihydroxyvalerate (PHB)	Goodfellow Polihydroxybutyrate/Polihydroxyvalerate (PHB 88/PHV)	Reliance Industries METABOLIX PHB	Metabolix Mirel™ 16003p Biobased PHA Polymeric Modifier	Metabolix Mirel™ P1003 Injection Molding Grade PHA Bioplastic	Metabolix Mirel™ P1004 Injection Molding Grade PHA Bioplastic
Physiques	densité	1,25 g/cc	1,25 g/cc	1,25 g/cc	1,18 - 1,25 g/cc	1,24 g/cc (ASTM D792)	1,4 g/cc (ASTM D792)	1,3 g/cc (ASTM D792)
	densité de volume					0,4 g/cc (ASTM D1895)		
	Absorption d'humidité à							
	Rétreissement de moule linéaire						0,0125 - 0,0155 cm/cm (ASTM D955)	0,0125 - 0,0155 cm/cm (ASTM D955)
	Flux de fusion					7 g/10 min (Metabolix STM-006)		
	déformation							
	Transmission de la vapeur d'eau					60 - 70 g/m ² /jour		
	Taux de transmission de					45 cc/m ² /jour		
	Masse moléculaire					500 - 2000 g/mol		
	Cristalinité					70%		
Mécanique	dureté					68 (ASTM D2240)		
	Résistance à la	40 Mpa (rendement)	28 Mpa (rendement)	23 Mpa (rendement)	40 Mpa		25 Mpa (ASTM D638)	24 Mpa (ASTM D638)
	Allongement à la						4% (ASTM D638)	7% (ASTM D638)
	rupture		15%	35%	5%			
	Module d'élasticité					3,5 Gpa		
	Résistance à la						2 Gpa (ASTM D790 A)	1,3 Gpa (ASTM D790 A)
	rupture						40 Mpa (ASTM D790 A)	33 Mpa (ASTM D790 A)
	Résistance au							
	rendement en flexion							
	Impact Charpy non							
	encoché							
	Impact charpie,							
	encoché							
	Izod impact, non	0,35 - 0,8 J/cm (Statut d'entaille inconnu)	1 J/cm (Statut d'entaille inconnu)	2 J/cm (Statut d'entaille inconnu)				
	Izod impact encoché						0,26 J/cm (ASTM D256 A)	0,31 J/cm (ASTM D256 A)
Résistance à la		25 - 30 Mpa						
traction du film au								
rendement, MD		25 - 30 Mpa						
Résistance à la								
traction du film au		7 - 15%						
rendement, TD								
Élongation du film à		5 - 10%						
la rupture, MD								
Élongation du film à		0,6 - 1 Gpa (film)						
la rupture, TD		0,8 - 1,2 Gpa (film)		0,5 Gpa				
Module Secant, MD						3 Gpa (ASTM D638)	1,6 (ASTM D638)	
Module Secant, TD	3,5 Gpa							
module de traction	95 C							
Température								
maximale de service,								
Point de								
ramollissement Vicat						124 C (ASTM 1525 B10)		
Température								
minimale de service,								
Température de						77 C (ASTM D648 B)	63 C (ASTM D648 B)	
déviation à 1,8 MPa								
(284 psi)								
Thermique								
Température de								

PHA NaturePlast:	Injection			Compoundage
Grade	Test ISO	PHI 001	PHI 002	PHI 003
Propriétés		Additivité	Brut	Poudre
Densité	1183	1,25	1,25	1,24
Indice de fluidité (g/10 min) à 190 C/ 2,16 kg	1133	15	15-30	
Module de traction (Mpa)	527	860	4200	
Allongement en traction à la rupture (%)	527	7	4	
Choc Charpy non entaillé (kJ/m ²)	179	45	5	
Tenue Thermique (°C) (HDT B)	75-2	45	134	

Propriétés	PHA NaturePlast données producteur	PHI 002
Générales	Densité	1,23
	Indice de fluidité (g/10min) (190°C ; 2,16kg)	5 à 10
	Dureté (15s) (Shore D)	76
	propriétés optiques	Opaque
Thermiques	température de fusion (°C)	170-176
	HDT Méthode B120 (°C)	134,4
	Vicat Méthode A50 (°C)	>150
Mécanique	contrainte de traction au seuil élastique (Mpa)	18,7
	Allongement en traction au seuil élastique (%)	1
	Contrainte de traction maximale (Mpa)	39,6
	Allongement en traction à contrainte maximale (%)	3,2
	Contrainte de traction à rupture (Mpa)	39,6
	Allongement en traction à rupture (%)	3,2
	Module d'Young (Mpa)	4200
	Module de flexion (Mpa)	3800
	Choc Charpy (non entaillé) (kJ/m ²)	5