



# Dégradation des bioplastiques en méthanisation

Florian MONLAU  
APESA

11/10/2021



## Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation



- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances ([InfoMétha.org](http://InfoMétha.org) et webinaires)
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- Mobilisation des experts au service d'une filière en maturation
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019

## SOMMAIRE

APESA : Qui sommes nous ?

Définition des bioplastiques : biosourcés et/ou biodégradables

Normes applicables pour la biodégradabilité des plastiques en méthanisation

Etat de l'art de la fin de vie des plastiques biodégradables en méthanisation

Stratégies d'amélioration de la biodégradabilité

Essais pilotes et industriels

Perspectives et conclusions







## ➤ Un centre technologique

créé en 1995 (statut associatif)

Au service de la transition écologique  
des entreprises et des territoires



## ➤ 4 offres

Valorisation des déchets biomasses et effluents

Réglementation et prévention HSE

Création de valeur sociétale

Eco-innovation et évaluation environnementale

<https://www.apesa.fr/>

## APESA: Qui sommes nous ?



L'APESA EN NOUVELLE-AQUITAINE  
au plus près de nos clients

- **BORDEAUX** > Floirac
- **TARNOS** > PTCE Sud Aquitaine
- **PAU** > Technopole Hélioparc
- **LESCAR** > Cap Ecologia

**44**  
COLLABORATEURS

CA 2019

**3 M €**

**30 %**  
DE L'ACTIVITÉ EN R&D

CERTIFIÉ  
ISO 9001 et 14001



Spécialistes de l'innovation technologique, nous avons pour objectif de faciliter l'émergence et le développement de solutions techniques innovantes dans le domaine du traitement déchets, biomasses et effluents.



## Notre OFFRE

- Analyses et Essais
- Prestations pilotes
- Expertise et Conseil
- Formations
- R&D

## Nos CLIENTS

- Porteurs de projets
- Agriculteurs et Industriels
- Bureaux d'études
- Financeurs
- Constructeurs
- Collectivités

## NOS 4 FILIÈRES



MÉTHANISATION  
MÉTHANATION



COMPOSTAGE



EFFLUENTS  
Microalgues



BIOPLASTIQUES  
Fin de vie



**10**  
COLLABORATEURS

**+ 20 ans  
D'EXPÉRIENCE**  
dans le domaine du traitement  
déchets, biomasses et effluents



## Pourquoi ce séminaire sur le devenir des plastiques biodégradables en méthanisation ?

- ⇒ Mise en place de la collecte sélective des biodéchets au 31/12/2023 : Nouveaux intrants en méthanisation ([Journée Technique du CTBM](#) du 30/09/2021);
- ⇒ Un fort développement des supports biodégradables : aide à la collecte
- ⇒ Un sujet scientifique à fort intérêt et en pleine expansion



Waste Management 80 (2018) 406–413

Contents lists available at [ScienceDirect](#)



ELSEVIER

### Waste Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman)

Review

### Anaerobic degradation of bioplastics: A review

Veronika Bátorí<sup>\*</sup>, Dan Åkesson, Akram Zamani, Mohammad J. Taherzadeh, Ilona Sárvári Horváth

*Swedish Centre for Resource Recovery, University of Borås, 50190 Borås, Sweden*

Bioresour. Technology 322 (2021) 124537

Contents lists available at [ScienceDirect](#)



ELSEVIER

### Bioresource Technology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech)



### Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production – A review

Amith Abraham, Hyojung Park, Okkyoung Choi, Byoung-In Sang<sup>\*</sup>

*Department of Chemical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea*





## Les plastiques biodégradables Définition?



- **Plastique biodégradable ≠ bioplastique**

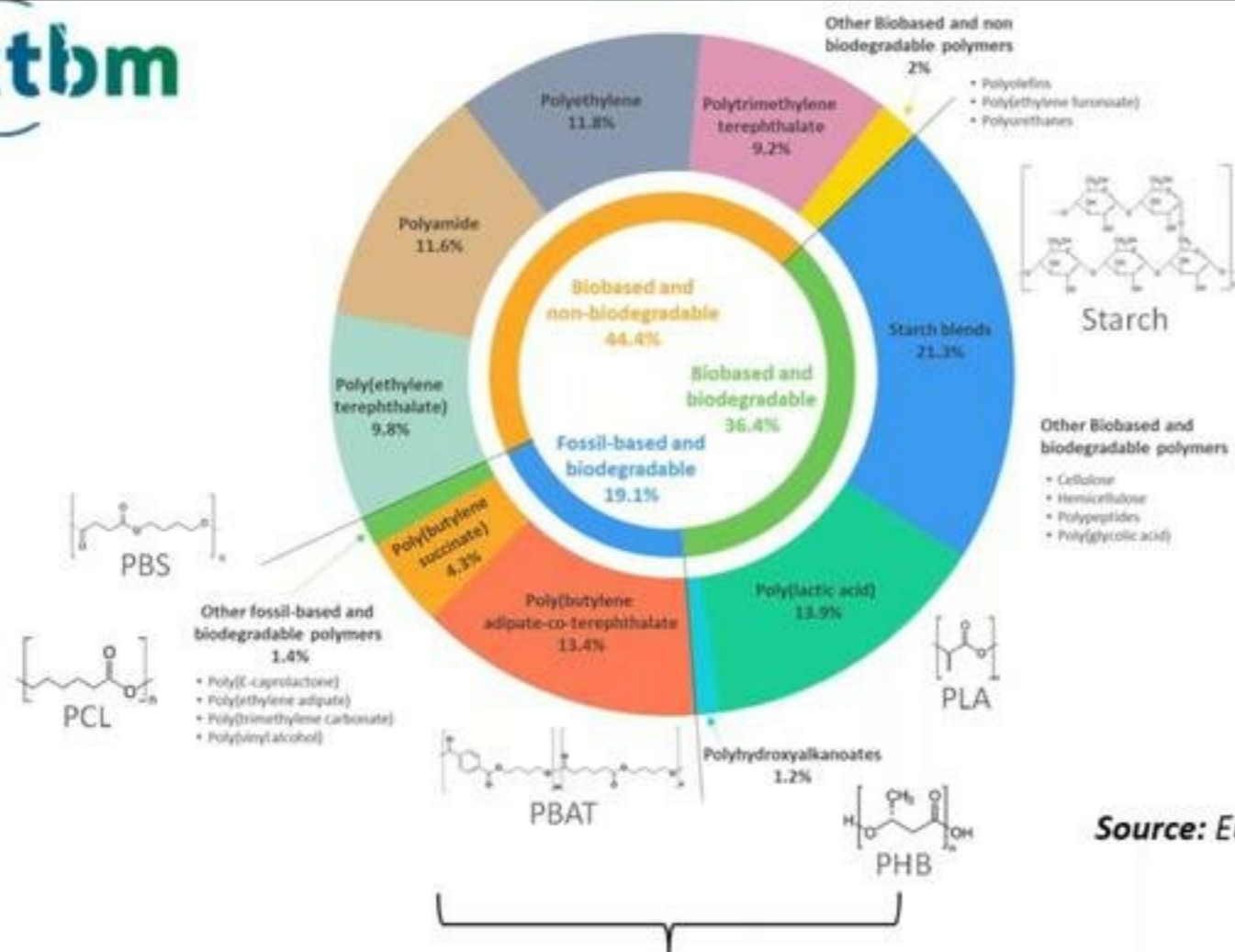


Biosourcé (origine)  
et/ou  
Biodégradable (fin de vie)

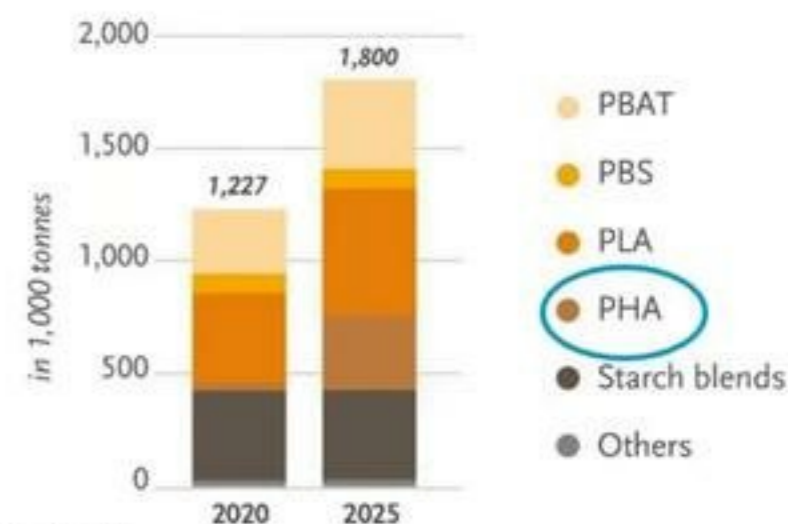
- **Plastique biodégradable:**
  - **Minéralisation** significative (CH<sub>4</sub> et/ou CO<sub>2</sub>)
  - Action de **microorganismes** naturellement présents
  - Conditions **environnementales** spécifiques
  - Période de **temps** définie

« *biodégradable* » utilisé seul n'a aucun sens  
il doit toujours être accompagné des modalités qui en précisent les contours...  
d' où la mise en place de *normes*





Biodegradable bioplastics 2020 vs. 2025



Source: European Bioplastics 2019

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2020)  
 More information: [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market) and [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets)

≈ 0,5 % de la production mondiale des plastiques

## Les grades commerciaux plus complexes

Additifs: plastifiants, stabilisants (UV, microbiens) et Retardateurs, pigments. Charges: minéral, organique-fibres  
 Mélange de polymères

## Quelles normes pour évaluer leur biodégradabilité en filière de traitement organique

# Les normes de biodégradabilité en méthanisation

## Biodégradation anaérobie



Mesure de la **biodégradation ultime** (transformation en  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) en conditions optimisées et contrôlées

Définissent le **protocole opératoire** à mettre en place:

- Température et teneur en MS
- Origine Inoculum et analyses
- Ajout de micronutriments
- Forme du matériau
- Volume des enceintes
- Ratio substrat/inoculum
- Analyse du gaz
- Formule calcul biodégradabilité

### Critère de validité du test:

Généralement test sur la cellulose  
Biod. > 70% en 15-30 jours





**Quels performances de biodégradabilité  
en filière méthanisation ?**

***Test laboratoire-type BMP  
Protocole  
Performances en mésophile et  
thermophile***

## Selon des protocoles normés d'analyses et d'essais



Eau + Inoculum  
+ matériel d'essai



Condition thermophile  
(57°C)

Condition mésophile  
(37°C)



- Mesure quotidienne de la pression (manomètre) ou volume
- Analyse de la composition gazeuse quotidienne ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ )



- Cinétique de production du biogaz et du méthane
- Production de méthane ( $\text{NL CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ MO}$ , MS ou PB)



## Quel ratio Inoculum/Substrat (ISR) appliquer ?

- ISO 14853 (pour milieu à 1-3% MS) = ISR entre 1,7 et 50 (gVS/gVS)
- ISO 13975 (pour milieu <15% MS) = ISR entre 2,4 et 14 (gVS/gVS)
- Essai interlaboratoire = ISR entre 2 et 4 (gVS/gVS)
- ISR APESA habituel = 2,85 (gVS/gVS)

## Calcul du taux de biodégradation:

↗ gaz + soluble

- Méthanisation : Matière organique → CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>  
 ↘ gaz

### Méthode 1 : Méthane libéré

- MS/MSV + analyse élémentaire (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>N<sub>n</sub>S<sub>s</sub>O<sub>z</sub>)
- Production de méthane théorique =  $\frac{22,4 \times (\frac{x}{2} + \frac{y}{8} - \frac{z}{4} - \frac{3n}{8} - \frac{s}{4})}{12x + y + 16z + 14n + 32s}$
- Biodégradation (%) =  $\frac{\text{Production de méthane } exp.}{\text{Production de méthane théorique}}$

### Méthode 2 : carbone organique total

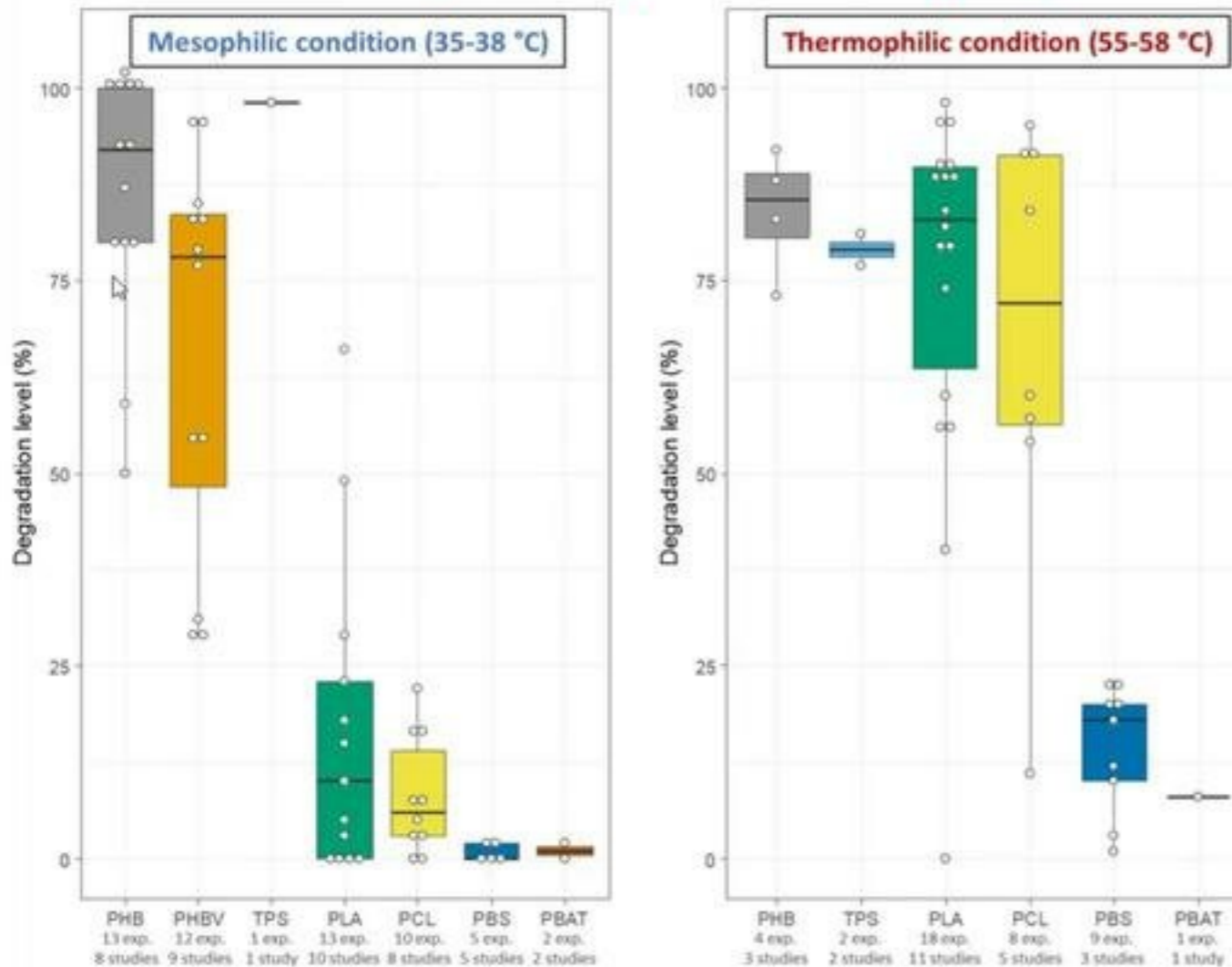
- MS/MSV + analyse carbone organique
- Détermination de la quantité de C inorganique dissous dans le surnageant
- Biodégradation (%) =  $\frac{\text{C de la phase gazeuse (CH}_4 + \text{CO}_2) + \text{C inorganique dissous}}{\text{C organique introduit}}$

↘ Résultats similaires



≈ 50 études de la littérature  
(Durée moyenne ≈ 20-100 jours)

# Biodégradabilité échelle labo



Polymer

- PHB
- PHBV
- TPS
- PLA
- PCL
- PBS
- PBAT

- Tests de biodégradabilité pas forcément réalisés selon les protocoles normés
- PHA et TPS se dégradent en mésophile et thermophile
- PLA et PCL se dégradent en thermophile
- Très peu de données disponibles sur des blends industriels (mélange de polymères), à part le Mater Bi® et autres études (Constans et al., 2019; Narancic et al., 2018)

Cazaudehore et al., 2021. « Can anaerobic digestion be a suitable end-of-life scenario for biodegradable plastics? A critical review of the current situation, hurdles, and challenges », soumise à *Biotechnology Advances*  
 Narancic et al., 2018. « Biodegradable Plastic Blends Create New Possibilities for End-of-Life Management of Plastics but They Are Not a Panacea for Plastic Pollution », *Environmental Science and Technology*  
 Constans et al., 2019. *Plastiques compostables : biodégradabilité anaérobie et contribution à la production de méthane*, *Déchets Sciences et Techniques*

## Comment améliorer la biodégradabilité?

*Prétraitements*  
*Ajouts d'additifs ou charges dans les*  
*polymères*

## Prétraitements en méthanisation

Procédés permettant d'améliorer la biodégradabilité et ou la cinétique de dégradation de matières organiques. Ils sont généralement classifiés en cinq groupes:

**Mécanique** : broyage, extrusion...

**Physique** : cavitation, ultrasons, micro-ondes...

**Thermique** : hygiénisation (1h, 70°C), haute température (140-180°C)...

**Thermo-chimique** : thermo-alcalin, thermo-acide...

**Biologique** : enzymes, champignons...



Séminaire d'Hélène Carrère (INRAE LBE) sur les prétraitements en méthanisation du 18/06/20

## Principaux prétraitements dans la littérature (surtout sur PLA et PHA)

Mécanique : broyage de 10 µm à 1 cm (Yagi et al., 2009 & 2012; Ryan et al., 2016).

Thermique – steam explosion 3h-121°C (Vargas et al., 2009), 70°C-150°C (Cazaudehore et al., 2021).

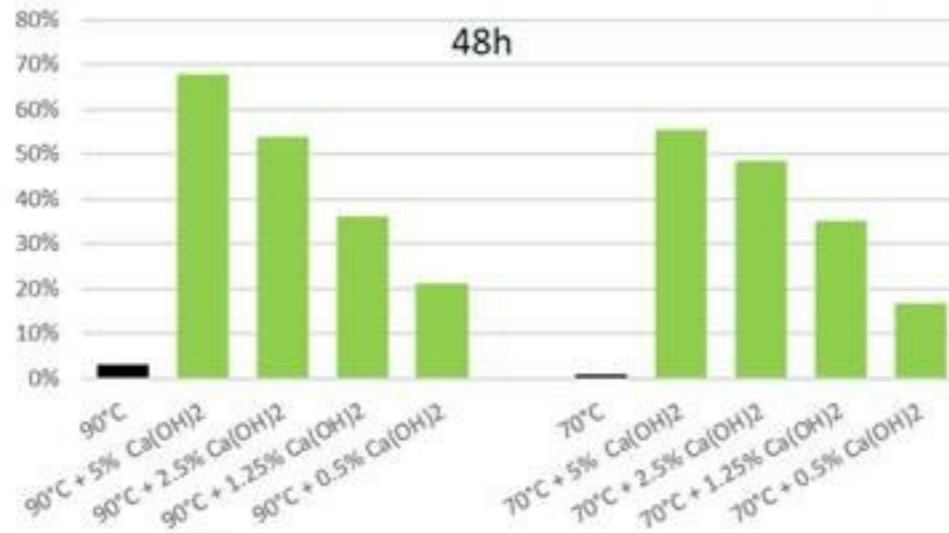
Thermo-alcalin (Battista et al., 2021, Benn and Zitomer, 2018, Cazaudehore et al., 2021)

Thermo-acide (Cazaudehore et al., 2021)

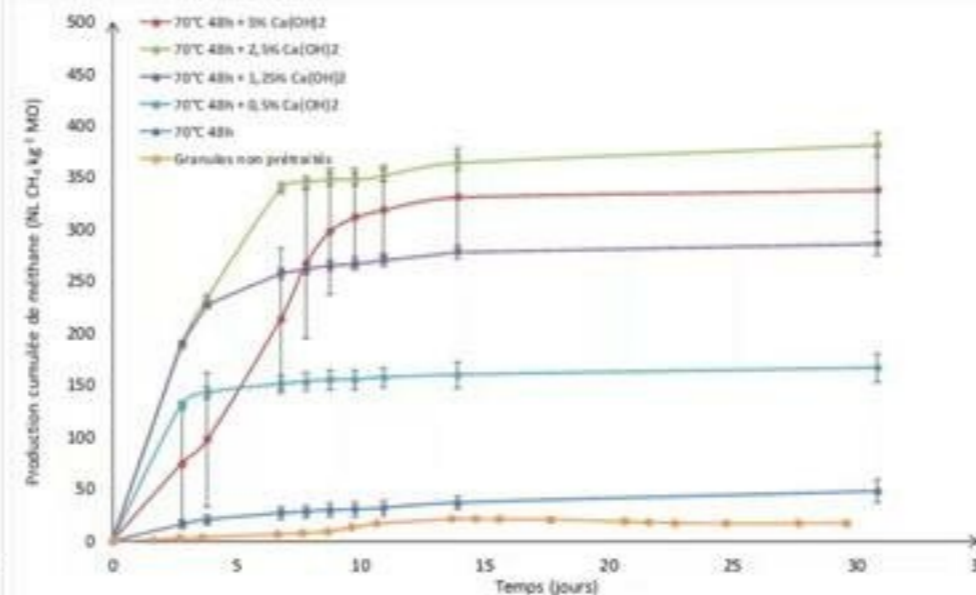
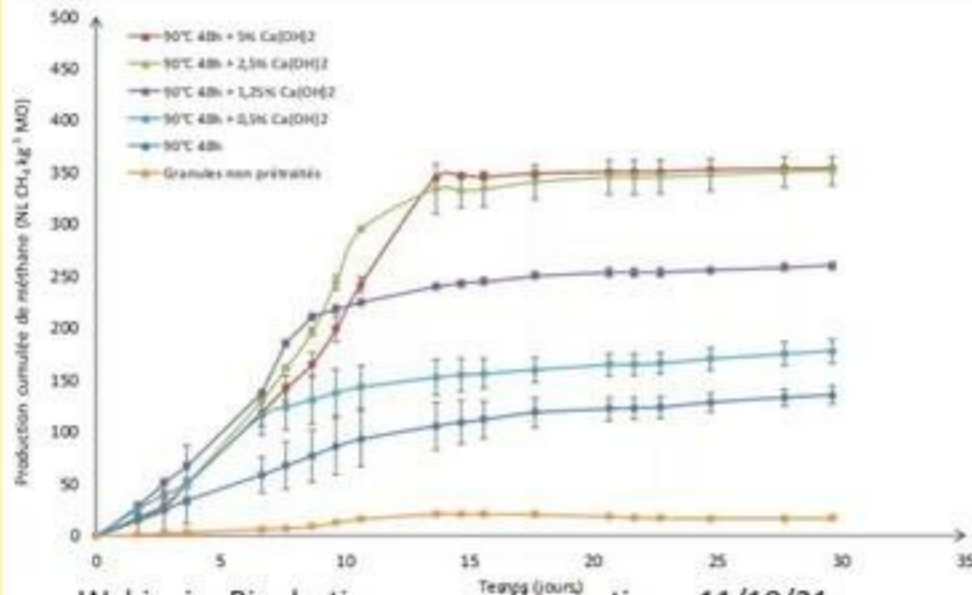
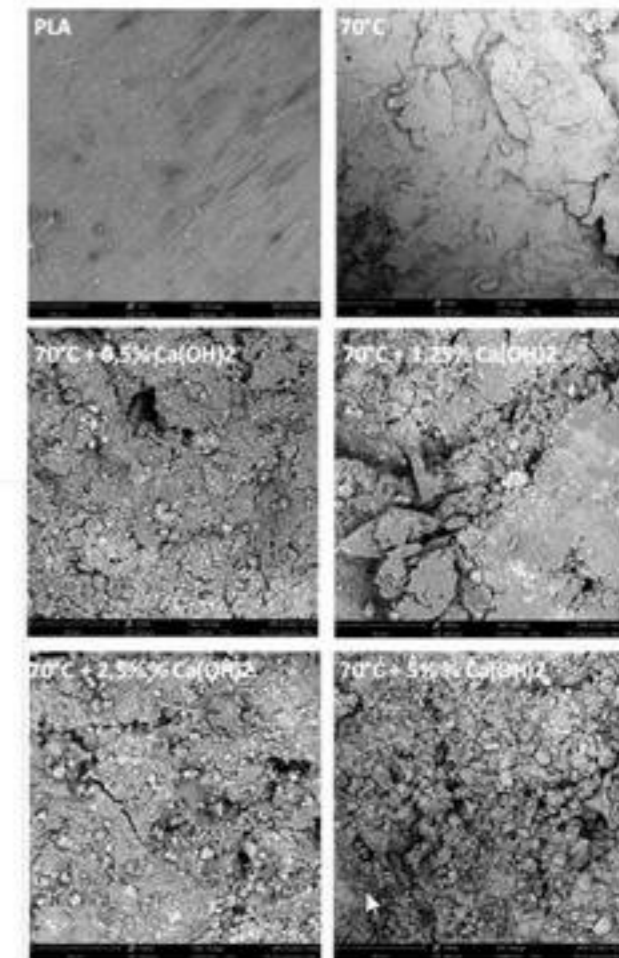


## Biodégradabilité en conditions mésophiles Prétraitement thermo-alcalin sur PLA

PLA solubilisation (%)



Thèse de Guillaume Cazaudehore



## Ajout de charges (surtout sur PLA et PHA)

Ajout de charges organiques : protéines, fibres...

Ajout de charges minérales : talc, biochar, carbonate de calcium...

## Amélioration de la cinétique de biodégradation/potentiel méthanogène

Hedge et al. 2018 : ajout de carbonate de calcium-19% / PLA → amélioration du potentiel méthanogène de 10-20%

Ryan et al 2017 : ajout de fibres-20-40% / PHA → amélioration de la cinétique de dégradation de 50%

Cazaudehore et al., 2021 : ajout de fibres (30%) / PHA → amélioration de la cinétique de dégradation de 80%

Hegde, S., Dell, E., Lewis, C., Trabold, T.A., Diaz, C.A., 2018. *Anaerobic Biodegradation of Bioplastic Packaging Materials*, in: The 21st IAPRI World Conference on Packaging. Presented at the The 21st IAPRI World Conference on Packaging, DEStech Publications, Inc. <https://doi.org/10.12783/iapri2018/24453>

Ryan, C.A., Billington, S.L., Criddle, C.S., 2017b. *Methodology to assess end-of-life anaerobic biodegradation kinetics and methane production potential for composite materials*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 95, 388–399. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.01.014>

Cazaudehore et al., 2021. Thèse sur la biodégradabilité des plastiques biodégradables en filières méthanisation

## Ajout d'additifs/enzymes dans le polymère

Evanesto® est le premier additif permettant aux films riches en PLA d'être certifiés « OK compost Home »



## Quel biodégradabilité en système réel continu?

*Essais pilotes laboratoires*  
*Essais industriels*

**Note:**

Alimentation continue ou semi-continue

Volume plus grand

Co-digestion et visualisation des instabilités





Thèse de  
Guillaume Cazaudehore



### Essai pilote co-digestion PHA/PLA avec des biodéchets:

Pilote mésophile (38°C)

Volume de 3L

TSH = 31-40 jours

OLR 2,5 kg DCO / m<sup>3</sup> / jour

20% plastiques et 80% soupe biodéchets (en MS)

#### Pilote:

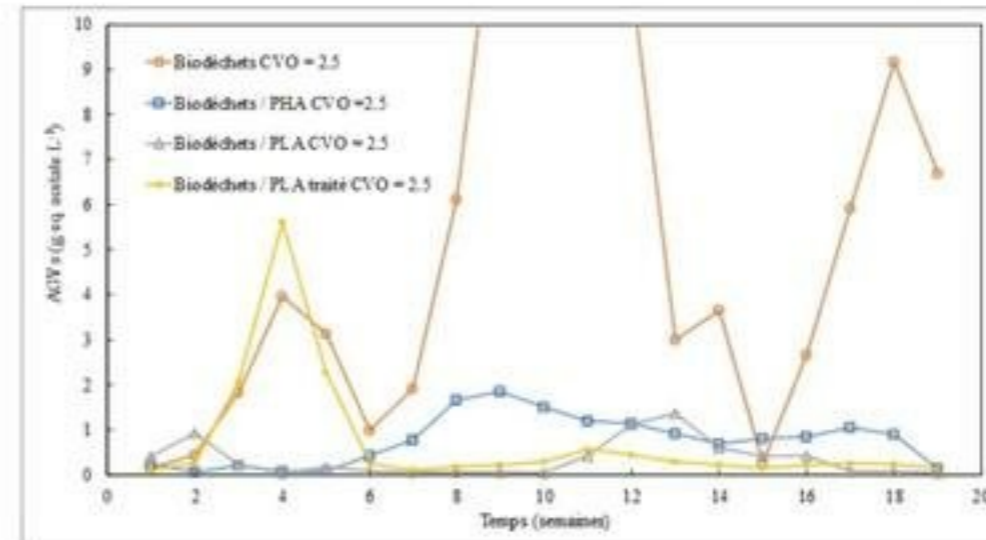
Pilote 1: biodéchets (C/N = 13)

Pilote 2: biodéchets + PHB (C/N = 18)

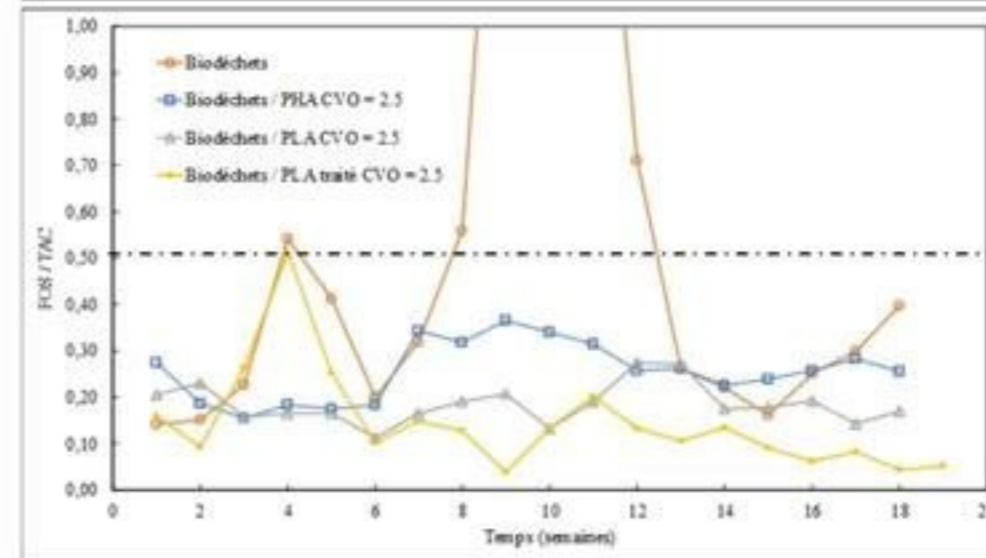
Pilote 3: biodéchets + PLA (C/N = 20)

Pilote 4: biodéchets + PLA traité (C/N = 20)

## Essai pilotes



AGVs



FOS/TAC

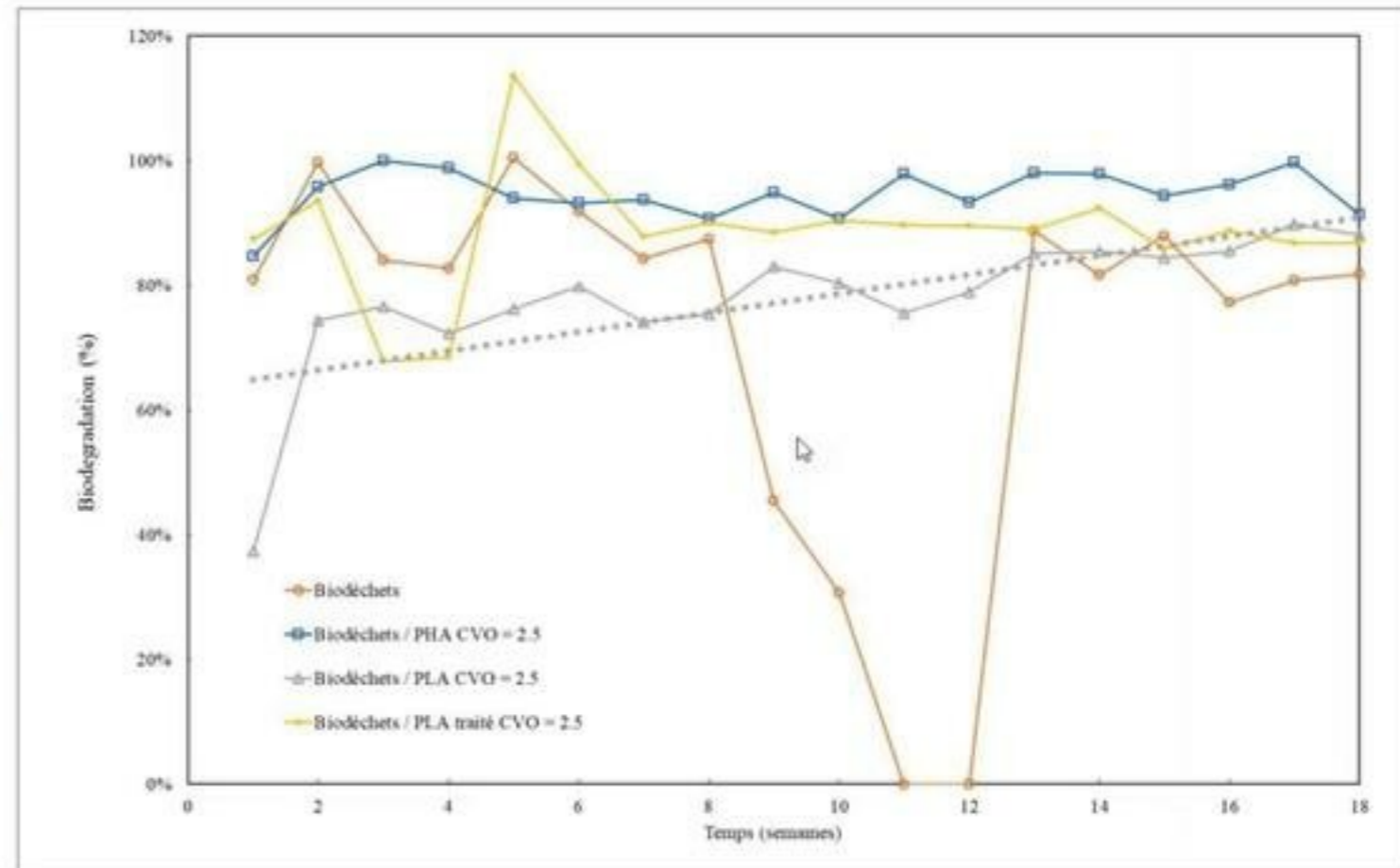
#### Principaux résultats:

Pilote avec biodéchets seuls part en acidose

L'ajout de bioplastiques permet une stabilisation (C/N plus haut)



# Essai pilotes



## Pilote:

- Pilote 1: biodéchets (C/N = 13)
- Pilote 2: biodéchets + PHB (C/N = 18)
- Pilote 3: biodéchets + PLA (C/N = 20)
- Pilote 4: biodéchets + PLA traité (C/N = 20)

## Biodégradabilité

Biodéchets + PHB: 95.5 %

Biodéchets + PLA: 82%

Biodéchets + PLA prétraité: 89%



## Essai pilote co-digestion PHB et boue primaire:

Pilote mésophile (36°C)

Volume de 2,5L

TSH = 15 jours

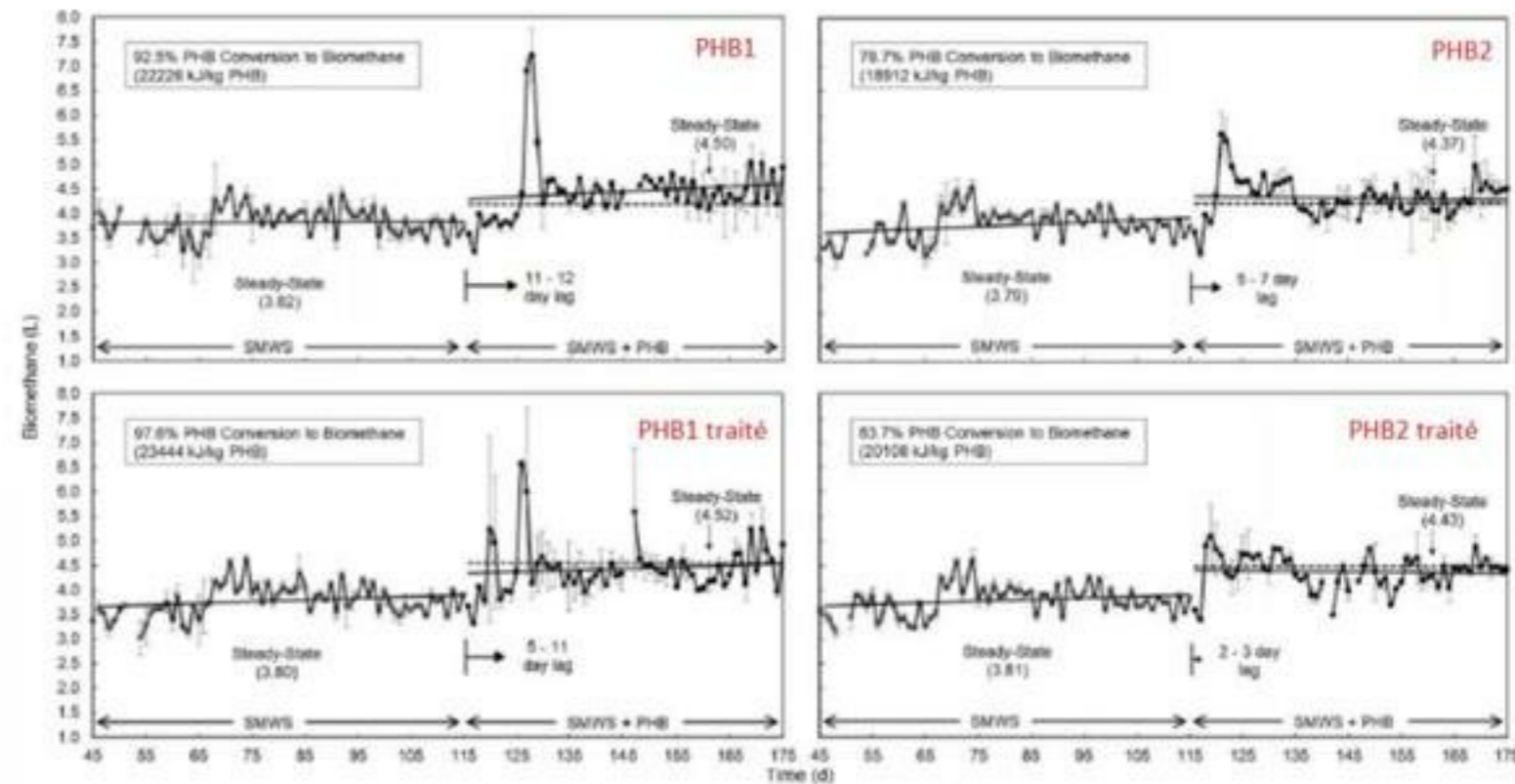
OLR 3,6 kg DCO / m<sup>3</sup> / jour

### Proportion:

20% DCO PHB et 80% DCO Boue

PHB 1: ENMAT Y 3000 (TianAn Biologic)

PHB 2: MIREL F1006 (Metabolix)



### Principaux résultats:

Bonne biodégradabilité du PHB en conditions mésophiles

Prétraitement (55°C, pH=12, 24-48h) améliore la biodégradabilité

Réacteur stable en terme de biologie (pH, AGVs)



Essais sur des systèmes industriels de méthanisation : co-digestion biodéchets et 4% poids sacs en plastiques biodégradables Mater Bi®

Table 2. Process chains at four trial facilities

Processing Phase	Brandholz	Braunschweig Watenbüttel	BMV Venneberg (Lingen)	Bioenergy Park Saerbeck
Pretreatment	Double screw grinder Star screen	Rotating screw Manual sorting Disc grinder	Rotating screw	Bag opener
Anaerobic Digestion Process time (weeks) Technology	3 Plug flow (thermophilic)	3 Plug flow (thermophilic)	3 Batch (mesophilic)	4 Batch (thermophilic)
Active Composting Process time (weeks) Technology	1 Aerated tunnel	2 Aerated static pile	1.5 Aerated tunnel	1 Aerated tunnel
Maturation Process time (weeks) Technology	1 Front-end loader	2 Front-end loader	5 Windrow turner	5 Windrow turner
Total Duration (weeks)	5	7	9.5	10

Figure 1. Sampling process and degradation steps in facility 3, Lingen. (Photo on left: washed compostable plastic bag fragments)



Table 3. Degradation results in four trial facilities — average presence of compostable plastics<sup>1,2</sup> (by percent dry weight)

	Brandholz	Braunschweig Watenbüttel	BMV Venneberg (Lingen)	Bioenergy Park Saerbeck
Input (%)	3.8	3.7	3.5	3.8
After anaerobic digestion (%)	2.3	2.1	4.0	1.6
After active composting (%)	1.2	0.6	0.4	1.2
After maturation (%)	0	0	0	0
Result	Full degradation within standard processing times of all analyzed facilities.			

<sup>1</sup>Percent weight of compostable bag fragments on total dry matter at each processing step <sup>2</sup>Weight includes wet organic material residues adhering to compostable plastic film

### Autres initiatives:

Sacs plastiques biodégradables acceptés dans différentes unités:

**e.g.** Skellefteå Sweden (infiniment mélangé); SIUS, Passau, Germany (voie sèche piston); ZAW-SR, Aiterhofen, Germany, (voie sèche batch); ETRA, Bassano del Grappa, Italy (voie sèche piston); ACEA Turin, Italy (infiniment mélangé).

Kern et al., 2018, Compostable plastics bags and anaerobic digestion. Fields trials in four german facilities

Webinaire Bioplastiques en méthanisation – 11/10/21

## Conclusions & perspectives

En résumé, nous pouvons distinguer trois classes distinctes:



**Polymères facilement biodégradables.** Ceux-ci atteignent une biodégradation complète ou presque complète dans un laps de temps relativement court (10-50 jours) dans des conditions de digestion anaérobie mésophile et thermophile.



TPS / PHA

**Polymères qui sont biodégradés très lentement dans des conditions mésophiles** et beaucoup plus rapidement dans des conditions thermophiles.



PLA / PCL

**Les polymères qui sont biodégradables** dans des conditions de compostage industriel selon la norme **EN 13432** et mal ou pas du tout biodégradés par la DA mésophile ou thermophile.



PBAT / PBS

**Note:**

Les polymères industriels sont plus complexes que ces matières.

Cette classification est basée sur les données de la littérature internationale. Elle sera amenée à évoluer au gré de la science.

Ces résultats ne reflètent pas forcément les échelles pilotes ou industrielles de la méthanisation.



## **Prétraitements et charges**

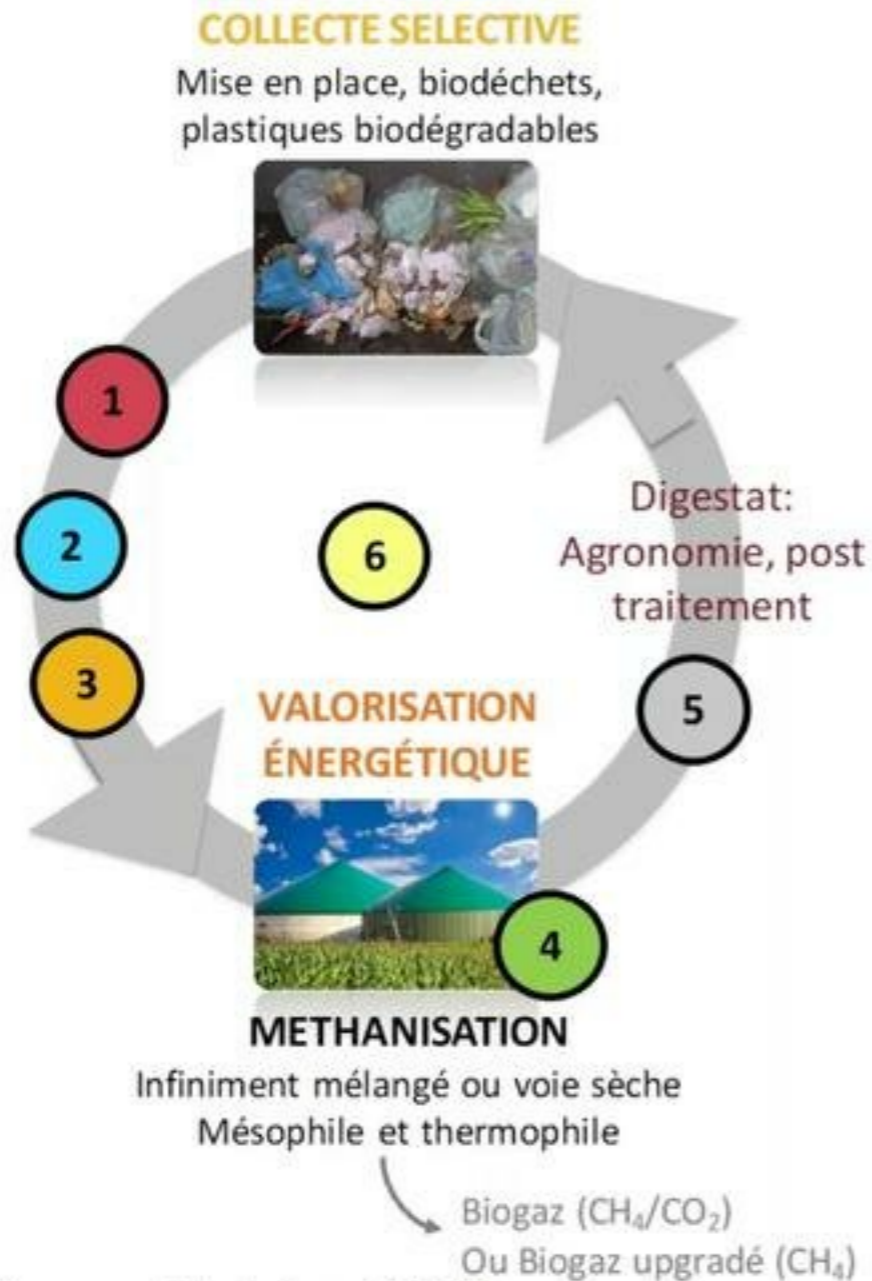
Prétraitements thermo-chimiques prometteurs à l'échelle laboratoire et pilote  
Ajout de charge organique ou minérale accélère la cinétique de biodégradation

## **En essai pilote continu**

Pas d'instabilité lié à l'incorporation des plastiques biodégradables  
Amélioration de la stabilité dans le cas des biodéchets : C/N amélioré

## **En essai industriel**

Faible biodégradabilité en filière méthanisation. Nécessité de coupler avec une étape de compostage du digestat solide pour biodégrader totalement les plastiques biodégradables



- 1** Impact des propriétés physico-chimiques et des additifs/charges sur la biodégradabilité
- 2** Nécessité d'avoir des infos sur la biodégradabilité de polymères du marché et des produits finis (Mater-Bi, Ecovio, Vegemat...)
- 3** Technologie de prétraitement afin de favoriser l'homogénéité et la biodégradabilité => enzymes, mécanique, physique
- 4** Impact de la typologie de méthaniseur et des conditions opératoires sur la biodégradabilité. Communauté microbienne
- 5** Impact des plastiques biodégradables sur la qualité agronomique des digestats et écotoxicité / Post-traitements
- 6** Développement d'un cadre normatif => mise en place d'une ou de normes de spécifications et d'essais





CTBM - Recyclage matière et valorisation énergétique des biodéchets - 30 septembre 2021

Guide de la méthanisation des "Biodéchets : du tri à la source jusqu'à la méthanisation"



**PLASTIQUES BIODÉGRADABLES**

Développement de nouveaux supports, Normes  
Nouveaux polymères (mlcPHAs)  
Incorporation de charges ou additifs



**COLLECTE SELECTIVE**

Sensibilisation  
Mise en place  
Développement d'outil approprié (bioseau, sac, point de collecte)  
(Dolci et al., 2021)



FACILITER / LIMITER NUISSANCES

Eco-concevoir des supports biodégradables ayant des propriétés d'usages intéressantes mais n'altérant pas la biodégradabilité en filière méthanisation et la qualité agronomique des digestats

EXUTOIRE / ENERGIE / NUTRIMENTS

PROPRIETES / BIODEGRADABILITE

**METHANISATION**

Essai échelle industrielle  
Définition du meilleur scénario  
Qualité agronomique / sanitaire du digestat  
Cadre normatif



## Perspectives

Dolci et al., 2021, Effect of Paper vs. Bioplastic Bags on Food Waste Collection and Processing, Waste and Biomass Valorization  
Batori et al., 2018, Anaerobic degradation of bioplastics: A review, Waste Management





## Projets en cours et à venir

### Projets fin de vie des plastiques biodégradables en méthanisation

ADEME METHAPLAST (2021-2024): RITTMO, APESA, IRMA, Bionerval (Contact : Nicolas Thevenin)

ANR BioCyPlast (2021-2024): INRAE Opaale, INRAE IATE (Contact : Patrick Dabert)

ADEME PRO (2021-2023): IRDL, labocea, Organeo, RITTMO (Contact : Stéphane Bruzaud)

### Thèse en cours

**Thèse de Emma Delamarche** : IMP et DEEP, Insa Lyon (soutenue en Juin 2021) sur le « Développement d'une méthodologie d'évaluation de la dégradabilité, dédiée à l'éco-conception. Application à des formulations à base de polyesters biosourcés et biodégradables ».

**Thèse de Guillaume Cazaudehore** : APESA/UPPA (soutenance en Mars 2022) sur « la fin de vie des plastiques biodégradables en méthanisation: performances et écologie microbienne »

**Thèse prévue entre INRAE OPAALE et INRAE IATE** dans le cadre du projet ANR BioCyPlast

### Documents utiles

ADEME, 2020, Revue des normes sur la biodégradabilité des plastiques (APESA/PolybioAID)

RECORD, 2020, Plastiques biosourcés et/ou biodégradables en fin de vie (INSA Lyon)



## RÉVÉLATEUR DE SOLUTIONS DURABLES

---

Merci de votre attention

**Florian Monlau**  
**Pôle Valorisation APESA**  
**Responsable R&D**

<https://valorisation.apesa.fr/>

Email: [florian.monlau@apesa.fr](mailto:florian.monlau@apesa.fr)





Sac de collecte plastique  
biodégradable EN 13432



LOMBARDIE



## Collecte sélective biodéchets Italie



Filière de prétraitement,  
méthanisation, suivi du  
compostage industriel de la  
phase solide des digestats

52 unités en fonctionnement  
sur ce modèle

La raccolta dei rifiuti organici in contesti urbani: il case study di Milano MRC marzo 2015

Webinaire Bioplastiques en méthanisation – 11/10/21



### Projets fin de vie des plastiques biodégradables en méthanisation

ADEME METHAPLAST (2021-2024): RITTMO, APESA, IRMA, Bionerval (Contact : Nicolas Thevenin)

ANR BioCyPlast (2021-2024): INRAE Opaale, INRAE IATE (Contact : Patrick Dabert)

ADEME PRO (2021-2023): IRDL, laboceca, Organeo, RITTMO (Contact : Stéphane Bruzard)

### Thèse en cours

**Thèse de Emma Delamarche** : IMP et DEEP, Insa Lyon (soutenue en Juin 2021) sur le « Développement d'une méthodologie d'évaluation de la dégradabilité, dédiée à l'éco-conception. Application à des formulations à base de polyesters biosourcés et biodégradables ».

**Thèse de Guillaume Cazaudehore** : APESA/UPPA (soutenance en Mars 2022) sur « la fin de vie des plastiques biodégradables en méthanisation: performances et écologie microbienne »

**Thèse prévue entre INRAE OPAALE et INRAE IATE** dans le cadre du projet ANR BioCyPlast


### Documents utiles

ADEME, 2020, Revue des normes sur la biodégradabilité des plastiques (APESA/PolybioAID)

RECORD, 2020, Plastiques biosourcés et/ou biodégradables en fin de vie (INSA Lyon)

## Prochains RDV du CTBM



- JRI : 15-17 mars 2022 à Lyon ([lien](#))
  - [Appel à interventions ouvert jusqu'au 22/10](#)  
<https://atee.fr/document/appel-a-interventions-jri-2022>
- Webinaire « facteurs de réussite et d'échec des projets de méthanisation » le 15/11 avec S. Bourdin (EM Normandie) : inscriptions à venir sur <https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/ctbm/webinaires-du-ctbm>
- 24h/24, 7j/7 sur InfoMétha.org   
nouvelle page « contactez-nous » pour poser des questions ou s'inscrire à la newsletter





## RÉVÉLATEUR DE SOLUTIONS DURABLES

---

Merci de votre attention

**Florian Monlau**  
**Pôle Valorisation APESA**  
**Responsable R&D**

<https://valorisation.apesa.fr/>

Email: [florian.monlau@apesa.fr](mailto:florian.monlau@apesa.fr)