

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	viii
Introduction.....	1
PREMIERE PARTIE : REPERES THEORIQUES.....	5
Chapitre 1 - Généralités sur les matières de fabrication de sac.....	6
I.1 Matières biodégradables	6
I.1.1 Notions.....	6
I.1.2 Normes de biodégradabilité et différentes labélisations :	8
I.1.3 Inventaire actuel de quelques sacs biodégradables sur le marché malagasy	11
I.1.4 Etude des polymères biodégradables	13
I.2 Matières plastiques.....	23
I.2.1 Terminologies utilisées	23
I.2.2 Utilisation et avantages incontournables des plastiques	26
I.2.3 Quantités de déchets plastiques à Antananarivo	27
I.2.4 Caractéristiques des sacs en plastiques	31
Chapitre 2 : Etudes des méfaits des déchets plastiques et quelques références textuelles.....	33
II.1 Effets des déchets plastiques sur l'environnement et sur la santé	33
II.1.1 Effets sur l'environnement.....	33
II.1.2 Effets sur la santé.....	34
II.2 Textes réglementaires	36
II.2.1 Cadre international.....	36
II.2.2 Cadre national	37
Chapitre 3 : Analyse des difficultés du recyclage et de la valorisation des sachets en plastiques	38
III.1 Travaux antérieurs réalisés sur le recyclage et la valorisation des sacs en plastiques.....	38

III.2 Recyclage des sachets en plastiques et problèmes rencontrés.....	38
III .2.1 Mode de recyclage et types de plastiques recyclables.....	38
III.2.2 Problèmes des recyclages des sachets en plastiques	39
III.3 Valorisation des sachets en plastiques et sa complexité.....	39
III.3.1 Valorisation et type de plastiques valorisables.....	39
III.3.2 Problèmes de la valorisation des plastiques	40
DEUXIEME PARTIE : INVESTIGATION SUR LES SACS BIODEGRADABLES ET APPLICATION PEDAGOGIQUE	42
Chapitre 1 : Essai de fabrication de films biodégradables à l'échelle de laboratoire.....	43
I.1. Matériels	43
I.1.1 Descriptions de quelques produits utilisés	43
I.2. Méthodes :.....	46
I.3 Résultats et commentaire :	49
I.4 Conclusion sur l'essai de fabrication:	54
I.5 Analyse de la démarche expérimentale.....	55
Chapitre 2 : Analyse de fabrication des sacs dans les chaines industrielles	57
II.1 Présentation de la société.....	57
II.2 Matières premières :	58
II.3 Caractérisation du sac biodégradable de GASYPLAST :	59
II.4 Usinage	60
II. 5 Test de biodégradabilité des sacs.....	61
II.5.1 Description des tests de biodégradabilité.....	61
II.5.2 Résultats des tests faits sur les sacs de la société GASYPLAST.....	65
COMPARAISON DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DU FILM BIODÉGRADABLE OBTENUS A L'ÉCHELLE LABORATOIRE AVEC LE FILM BIODEGRADABLE DE LA SOCIETE GASYPLAST.....	68
Chapitre 3 : Application pédagogique	69
III.1 Elaboration de la fiche pédagogique de préparation de cours pour l'enseignant	69

III.2 Proposition de Travaux pratiques dans la classe de 1 ^{ère} scientifique.....	77
Conclusion générale :	80
BIBLIOGRAPHIE.....	viii
WEBOGRAPHIE	x
GLOSSAIRE.....	xii
ANNEXES	xiii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Labels pour spécifier les produits compostables et biodégradables	10
Tableau 2.	types de sacs biodégradables à Madagascar et leurs fabricants.....	11
Tableau 3.	Formules chimiques de quelques polymères biodégradables.....	15
Tableau 4.	Caractéristiques de l'amidon	18
Tableau 5.	Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques ...	20
Tableau 6.	Caractéristiques de la cellulose	20
Tableau 7.	types de plastiques et ses caractéristiques	24
Tableau 8.	Composition Ordures Ménagères de la CUA	27
Tableau 9.	évolutions de la quantité collectée de 1998 en 2014	30
Tableau 10.	Type, caractéristique de sachets en plastiques et fabricants.....	32
Tableau 11.	Caractéristiques de la glycérine.....	44
Tableau 12.	Moules pour les sacs biodégradables.....	51
Tableau 13.	Variation de la quantité de maïzena et conséquences dans la fabrication d'un film biodégradable	51
Tableau 14.	Variation de la quantité de glycérine et conséquences dans la fabrication d'un film biodégradables.....	52
Tableau 15.	Variation des conditionnements et conséquences dans la fabrication de film biodégradable.	52
Tableau 16.	Propriété mécanique du film	53
Tableau 17.	Test de biodégradabilité du film.....	53
Tableau 18.	Type et caractéristiques de sac biodégradable fait à base de fécule de manioc de Gasyplast	59
Tableau 19.	Diminution de COD	65
Tableau 20.	Attaque par microbe du sac biodégradable.....	66
Tableau 21.	Essai de disparition de COD.....	66
Tableau 22.	Analyses physiques faites sur les sacs et observations.....	67
Tableau 23.	Comparaison des films biodégradables industrielle et à l'échelle de laboratoire	68
Tableau 24.	Fiche pédagogique pour l'enseignant	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Processus de biodégradation des bioplastiques	8
Figure 2.	Labels privés individuels contrôlés pour les emballages biodégradables	10
Figure 3.	Sac biodégradable et compostable fait à base de fécule de manioc de Gasyplast	12
Figure 4.	Sacs écologiques nontissés « non Woven Bags »	12
Figure 5.	Sacs poubelles de SFOI	12
Figure 6.	Sacs artisanaux	13
Figure 7.	Polymères biodégradables	14
Figure 8.	Stylos/classeurs	16
Figure 9.	Pilluliers/géllules	16
Figure 10.	Pots à fleur fait à partir d'un mélange d'amidon et de Co polyester biodégradables	17
Figure 11.	Fibres non tissés/vêtement en PLA	16
Figure 12.	Gobelets/couverts/assiettes jetables en PHA et/ouPLA	16
Figure 13.	Téléphone hi Tech formé principalement biocomposite PLA et de fibres végétales ...	17
Figure 14.	source d'amidon	17
Figure 15.	Amylose.....	19
Figure 16.	Amylopectine	19
Figure 17.	Production mondiale et européenne des matières plastiques en 2007	26
Figure 18.	Compositions des ordures ménagères.....	28
Figure 19.	Compositions des déchets plastiques collectés par SAMVA	29
Figure 20.	déchets plastiques/ partie obstruée de canaux d'évacuation d'Andriantany.....	34
Figure 21.	Trash vortex.....	34
Figure 22.	Lavage et effilage des sacs en plastiques.....	39
Figure 23.	Taux de recyclage et traitement des déchets d'Andralanitra	40
Figure 24.	Glycérine pure salama	45
Figure 25.	Colorants alimentaires	46
Figure 26.	Test de perméabilité	48
Figure 27.	Film loupé avec de la farine de maïs	49

Figure 28.	Film loupé avec de la farine de blé.....	50
Figure 29.	démarches expérimentales.....	55
Figure 30.	La société GASYPLAST.....	57
Figure 31.	Les granulés d'amidon de manioc provenant d'Indonésie	58
Figure 32.	Sac biodégradable large size	59
Figure 33.	Mode de fabrication de sac	60

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ADEME: Agence De L'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AFNOR: Association Française de Normalisation

ASTM: American Society for Testing and Materials

CEC :Conseil Européen de Coordination

CEN: Comité Européen de Normalisation

CPG: Chromatographie en Phase Gazeuse

CUA : Commune Urbaine d'Antananarivo

DIN: Deutsches Institut für Normung

ENS: Ecole Normale Supérieure

EPA : Environnement Protection Agency

HPLC: Chromatographie Liquide à Haute Performance

ISO: Internationale Standardization Organization

ISR: Institute for Standards Research

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OGM : Organisme Génétiquement Modifié

ONE: Office Nationale de l'Environnement

ORCA: Organic Reclamation and Composting Association

PA : PolyAmide

PC : PolyCarbonate

PE : PolyEthylène ou polyoléfine

PEBD : PolyEthylène Basse Densité

PEHD : PolyEthylène Haute Densité

PP : PolyPropylène

PS : PolyStyrène

PU : PolyUréthanes

PVC : PolyChlorure de Vinyle

RMN: Résonance Magnétique Nucléaire

S.A.R.L : Société A Responsabilité Limité

SAMVA : Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo

SFOI : Société de Fabrication de l'Océan Indien

SMTP : Société Malgache de Transformation des Plastiques

UCODIS : Union **C**ommerciale de **DIS**tribution

UV : **U**ltra-**V**iolet

Introduction

La dégradation de l'environnement est l'un des problèmes majeurs de notre décennie. Cette dégradation se manifeste principalement au niveau de la diminution de la couche d'ozone, le réchauffement planétaire, les pluies acides, le changement climatique, la pollution de l'eau et la pollution des sols. Selon le Cercle des économistes et Erik Orsenna (2007) « Le climat, l'environnement, les déséquilibres de l'épargne, la démographie sont les nouveaux risques du monde global auxquels répondra, entre autres, la notion de développement durable¹ ». L'aggravation du problème a notamment des conséquences pour les générations futures car « Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants » (Antoine de Saint-Exupéry, 1924).

Parmi les causes qui accélèrent cette dégradation de notre environnement, on ne peut pas négliger les impacts causés par l'utilisation des sachets et des sacs en plastiques. Les plastiques, une fois hors d'usage, se trouvent sous forme de déchets, particulièrement les sacs qui sont des plastiques à usage unique. Pourtant, les plastiques ont une durée de vie très longue d'environ 500 ans. Lors de la mise en décharge, ils ne diminuent pas de volume avec le temps, et voire même après compactage. Ils ont tendance à reprendre du volume et dont l'incinération conduit à un dégagement de gaz toxiques tels que les monoxydes de carbone qui peuvent entraîner des asphyxies et qui posent un grave problème de pollution de l'air. Celle-ci peut également générer des polluants dans les fumées comme l'acide chlorhydrique. La pollution par les métaux lourds ou d'autres polluants, présentes dans les plastiques tue les organismes essentiels pour entretenir la cohésion et la capillarité du sol (champignon, vers de terre,...), ils produisent des dioxines et des furannes, produits qui peuvent conduire à une incapacité de se reproduire chez toutes les espèces animales étudiées (poisson, oiseau ou mammifère) et qui sont cancérigènes chez l'homme. A Madagascar, ces plastiques bouchent les canaux d'évacuation des eaux usées, provoquant ainsi des inondations surtout en saison pluvieuse dans les bas quartiers. Pour ces multiples raisons, chaque Nation a promulgué des

¹ Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. (Bulletin APEPA, 2010) (B1)

textes visant à réduire les effets des emballages plastiques sur l'empreinte écologique. Des décrets ont été promulgués dans plusieurs pays dont la France, les Etats-Unis, la plupart des pays d'Afrique et Madagascar. A Madagascar, le Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie, et des Forêts a promulgué le décret 2014-1587 du 07 octobre 2014 qui stipule l'interdiction de la production, de l'importation, de la commercialisation et de l'utilisation des sachets et des sacs en plastiques sur le territoire national malgache.

Pourtant, les plastiques ont des intérêts multiples et incontournables dans la vie quotidienne. Alors, tout au long de ce travail de recherche, nous allons répondre à la question « Comment réduire les impacts des plastiques sur l'environnement ? ».

De ce fait, nous avançons les hypothèses suivantes :

- ✓ L'utilisation des sacs biodégradables constitue une alternative pour substituer les sacs en plastiques, ce qui permettrait de diminuer leur consommation et réduirait dans ce sens la pollution qui en découlent ;
- ✓ La conscientisation des gens vis-à-vis des méfaits des matières plastiques par l'intermédiaire des élèves et l'insertion dans le programme scolaire des cours et des travaux pratiques focalisant sur les polymères biodégradables pourraient réduire la consommation des matières en plastiques et diminuerait dans ce sens leurs impacts sur notre environnement.

Des travaux réalisés dans le cadre de mémoire de fin d'étude au sein de l'ENS sont axés sur la protection de l'environnement contre les déchets plastiques tels le travail fait par HERIARIVONY Soaniriana Claudeline du 17 décembre 2009 intitulé « contribution à la diminution de la pollution de l'environnement : Récupération et valorisation des déchets plastiques » et aussi la thèse en doctorat de RAJAOMANANA Hery « gestion et traitement des déchets ménagers dans les pays en voie de développement. Etude de cas de la ville d'Antananarivo » (Rajaomanana, H., 1996). Ces deux travaux ont étudié surtout les traitements des déchets plastiques sans définir leur substitution à l'état actuel. Cette présente recherche vise les même objectifs en vue de la protection de l'environnement mais au lieu de traiter les déchets plastiques, nous proposons de substituer certaines matières en plastiques plus précisément les sacs en plastiques.

Par ailleurs, A Madagascar, de nombreuses firmes et société ont déjà produits des sacs de substitution comme ceux de la société GASYPLAST qui se trouve à Ambohimalaza. Ses

activités sont basées sur la fabrication des sacs biodégradables et compostables faits à base de féculé de manioc. En outre, d'autres sociétés fabriquent des sacs écologiques faits à base de papier.

Pour ces raisons, cette recherche mène au travail de mémoire intitulé : « contribution à la réduction de la pollution émise par les sacs en plastiques. Essais de fabrication de films plastiques biodégradables. Application dans les classes secondaires. »

La méthodologie adoptée consiste en premier lieu à effectuer des recherches bibliographiques sur les thèmes « environnement et impacts des matières plastiques », « les matières biodégradable » et « fabrication des sacs biodégradables » auprès des ouvrages consultables. Ces recherches nous permettront de faire des collectes des savoirs théoriques relatifs à notre travail. En même temps des recherches webographiques sont entamées à travers des nombreux sites internet. De plus, des enquêtes seront faites auprès du SAMVA qui fait la collecte des déchets dans la ville d'Antananarivo. En deuxième lieu, ce qui constitue la majeure partie de notre travail des essais de fabrication des films biodégradables à partir de matières premières choisies préalablement ont été menés au laboratoire de l'ENS Ampefiloha. En troisième lieu, nous avons effectué une visite de la société GASYPLAST qui est une société récente produisant des sacs biodégradables. Cette visite nous est utile pour recueillir des données sur les sacs biodégradables et sur leur impact environnemental. Et enfin, des fiches pédagogiques pour les enseignants et des fiches de travaux pratiques concernant les polymères biodégradables ont été élaborées en vue d'une application dans les lycées.

Ce choix du thème se justifie par divers axes :

- Les professeurs de chimie doivent être conscients des enjeux environnementaux des utilisations courantes des matériaux non biodégradables et de les transmettre à la société par le biais de leurs étudiants.
- Des travaux pratiques pourront être proposés sur la fabrication des sacs bio polymères en se basant sur les polymères qui figurent dans le programme scolaire des sciences physiques de la classe de 1^{ère} scientifique.

Le présent mémoire se subdivise en deux grandes parties dont la première partie présente le cadre théorique de la recherche : une présentation sur les matières de fabrication de sac, les

références textuelles, les méfaits des plastiques sur l'environnement et sur la santé, l'analyse des difficultés rencontrées lors des recyclages et de la valorisation des sachets plastiques. La deuxième partie est centrée sur notre investigation sur les sacs biodégradables, l'analyse de fabrication des sacs dans les chaînes industrielles et l'application de notre recherche sur l'enseignement des sciences physiques au lycée.

PREMIERE PARTIE : REPERES THEORIQUES

Les effets néfastes des déchets plastiques sont actuellement reconnus. Plusieurs pays dont Madagascar fait partie, ont adopté des décrets concernant les interdictions de l'utilisation des sachets en plastiques. Le sac biodégradable constitue une alternative que ce mémoire essaye de démontrer. Cette première partie comporte trois chapitres, le premier inventorie les matériaux de fabrication de sac tels que les matières biodégradables et les matières plastiques et clarifie certaines définitions; le second présente les méfaits des sachets en plastiques et le cadre réglementaire en vigueur. Et le dernier, analyse les difficultés rencontrées lors du recyclage et de la valorisation des déchets des sachets en plastiques.

Chapitre 1 - Généralités sur les matières de fabrication de sac

Les emballages répondent à de réels besoins. Ils protègent les produits contre la prolifération de germes et contre les chocs lors du transport. Ils préservent également la qualité organoleptique des produits et leur conservation. Leur rôle est surtout de contenir et de protéger les marchandises pour faciliter leur manutention, leur transport ou leur acheminement que ce soit biodégradable ou non.

I.1 Matières biodégradables

L'étude de matières biodégradables repose sur la mise en place des définitions communes et l'inventaire des matériaux de fabrication des sacs fréquemment utilisés.

I.1.1 Notions

Dégradation :

La dégradation est la modification dans la structure chimique d'une espèce lorsque celle-ci est soumise à diverses conditions spécifiques du milieu, résultant en une perte de propriétés qui peuvent être mesurées par des méthodes standards selon une période donnée.

Biodégradation :

D'après la définition de la biodégradabilité conformément à la norme européenne EN13 432, la biodégradation est « sous l'action de micro-organismes² en présence d'oxygène, la décomposition d'un composé chimique organique en dioxyde de carbone, eau et sels minéraux des autres éléments présents (minéralisation) et apparition d'une nouvelle biomasse.

² Les microorganismes sont des êtres vivants unicellulaires ou pluricellulaires. Ce terme regroupe des organismes procaryotes (virus, bactéries dont archaebactéries) et eucaryotes (algues, protozoaires et champignons). Ces microorganismes ont développé la capacité à dégrader différents types de composés chimiques.

En l'absence d'oxygène, décomposition en dioxyde de carbone, méthane, sels minéraux et création d'une nouvelle biomasse ».

Matériau + O₂ \longrightarrow CO₂ + H₂O + Biomasse + Résidus (en milieu aérobie)

Matériau \longrightarrow CO₂ + H₂O + CH₄ + Biomasse + Résidus(en milieu anaérobie)

Les processus mis en jeu lors de la biodégradation sont nombreux et complexes et font intervenir une suite de phénomènes qui, sommairement, sont les suivants :

- une première phase correspondant à une détérioration du produit, appelée désintégration. Elle est généralement provoquée par des agents extérieurs (mécanique comme le broyage, la photo-dégradation, l'oxo-dégradation, la thermo-dégradation). Les microorganismes ou d'autres êtres vivants (vers de terre, insectes, voire rongeurs) peuvent aussi fragmenter le produit, il s'agit de bio -fragmentation.

Cette première phase est très utile car elle a pour résultat la désagrégation du matériau qui, ainsi, sera plus facilement accessible aux microorganismes (augmentation de la surface de contact)

- une deuxième phase correspondant à la biodégradation proprement dite. Il s'agit ici de l'attaque du matériau par les microorganismes qui vont, grâce à leurs enzymes le transformer en métabolites qui seront assimilés dans les cellules, le résultat final étant la minéralisation qui correspond à la production de CO₂ et/ou CH₄ et d'eau. Cette deuxième phase est souvent concomitante à la première.

La minéralisation :

C'est la dégradation de la matière organique sous l'action de paramètres physicochimiques qui aboutit à la formation d'éléments simples tels que le CO₂, CH₄, H₂O et O₂.

Le bioplastique :

Ce sont « des matériaux bio-sources, c'est-à-dire qui sont fabriqués, en partie ou en totalité, à partir de matières végétales et qui contiennent au minimum 40% de matière d'origine végétale. » Ils sont principalement biodégradables.

Le processus de biodégradation des bioplastiques est résumé dans la figure ci-après :

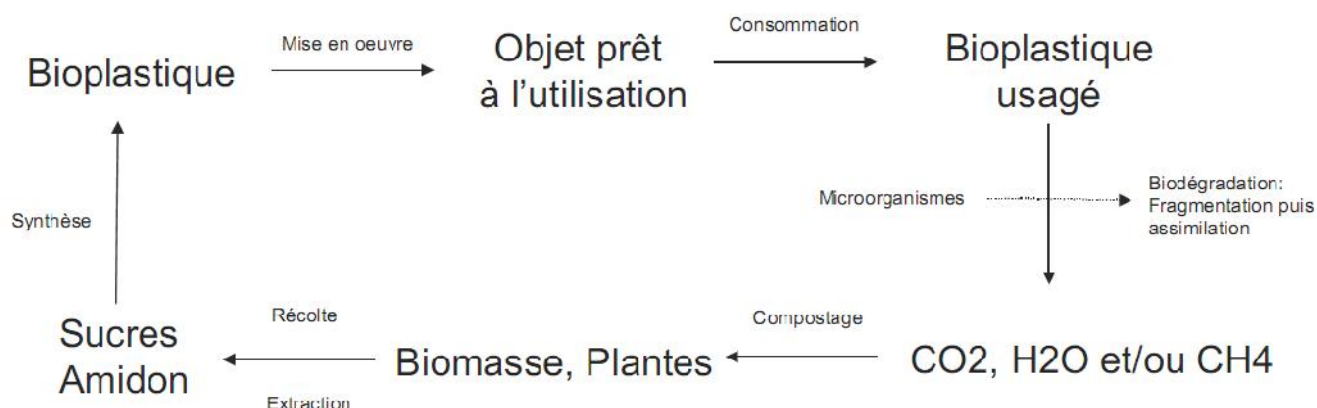


Figure 1. Processus de biodégradation des bioplastiques

Source : www.materiatech-carma.net (w1)

Cette figure nous démontre le grand intérêt de l'utilisation des bioplastiques pour notre environnement. Il y a donc grâce à ce processus, retour complet du matériau et de ses éléments par et dans l'écosystème.

A ces propos, sans micro-organismes il n'y a pas de biodégradation, un matériau biodégradable n'est donc pas un matériau à durée de vie limitée mais un matériau qui peut être digéré par les micro-organismes. Un matériau compostable est toujours biodégradable mais un matériau biodégradable n'est pas forcément compostable.

Le domaine de ce mémoire se limitera à l'étude des sacs purement biodégradables.

1.1.2 Normes de biodégradabilité et différentes labélisations :

a) norme régissant la biodégradabilité :

Pour tester la biodégradabilité d'une matière, on utilise des standards et des tests qui sont définis par des organismes internationaux comme l'ASTM ; le CEN ; l'ISO ; l'ISR ; le DIN et l'ORCA.

Parmi ces normes, la norme européenne EN 13432 définit les objectifs et les règles de production des polymères biodégradables et compostables et les procédures de certifications.

Les tests de biodégradation en milieu aqueux font objet des normes : ISO 14 851, ISO 14 852 et ISO 14 853.

Les tests en compost font l'objet des normes : ISO 14 855, EN 14 046, ASTM D5209-92 et D5338-92.

b) Stipulation selon la norme EN 13 432

La norme Européen EN 13 432 s'applique sur la valorisation par compostage et biodégradation des emballages et des déchets d'emballages. Elle s'appuie sur 4 critères principaux :

- composition : elle établit un taux maximal de solides volatils, de métaux lourds et de fluor acceptable dans le matériau initial
- Biodégradabilité : le seuil acceptable est d'au moins 90% au total, ou 90% de la dégradation maximale d'une substance de référence dans un délai maximum de 6 mois.
- Désintégration : le seuil de refus est de 10% de la masse au-dessus du tamis de 2 mm après 12 semaines. C'est à dire, aucun fragment de matériau supérieur à 2 mm x 2 mm après 12 semaines.
- Qualité du compost final et écotoxicité ; elle ne doit pas être modifiée par les matériaux d'emballage ajoutés au compost et ne doit pas être dangereuse pour l'environnement. La norme impose de réaliser des tests éco- toxicologiques sur le compost final et exige une performance supérieure à 90% de celle du compost témoin correspondant.

c) Différents labels pour les emballages biodégradables et compostables :

Les labels sont des marques, des étiquettes pour spécifier un produit et les pictogrammes sont des dessins symboliques servant à la signalisation d'un produit.

Même à l'étranger, il n'y a pas de labels officiels, mais il existe différents organismes certificateurs privés tels que Din Certco (Allemagne) ou AIB-Vinçotte (Belgique), il reste encore des labels privés individuels contrôlés³.

On arbore les labels suivants pour les produits qui se dégradent naturellement dans l'environnement : dans la mer, dans le sol ou dans l'eau (environnement spécifié sur

³ Les labels privés individuels contrôlés sont des labels de qualité écologique qui sont créés par les fabricants ou un distributeur mais contrôlés par un organisme externe et indépendant, généralement accrédité. (labels-logos-picto.pdf)(w2)

l'étiquette). Il garantit la complète biodégradation dans le milieu spécifié, conformément à la norme NF U 52001. Ces matériaux peuvent ne pas être compostables.

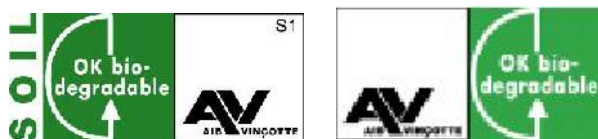


Figure 2. Labels privés individuels contrôlés pour les emballages biodégradables

Source : <https://les.cahiers-developpement-durable> (W3)

Selon le pays, les labels pour spécifier les produits qui sont à la fois biodégradables et compostables sont résumés dans le tableau suivant :

Pays	Organisme certificateur	Norme	Label
Allemagne	DIN Certco	DIN V 54 900	
Belgique	AIB Vincotte	EN 13 432	
Etats-Unis	US Composting Council	ASTM 6 400	
Finlande	Jätelaitosyhdistys	EN 13 432	
France	AFNOR	NF Environnement	
Japon	Japon Biodegradable Plastic Society	Green PLA	

Tableau 1. Labels pour spécifier les produits compostables et biodégradables

Source : www.materiatech-carma.net (W1)

Les matériaux compostables qui portent le label OK compost se décomposent en 12 semaines dans une installation de compostage professionnelle.

La version du label « OK compost home » a pour objet de signaler la biodégradabilité d'un matériau dans un procédé de compost domestique.

Ces labels et pictogrammes sont nécessaires pour distinguer les produits biodégradables afin que les utilisateurs puissent choisir en connaissant la nature du produit qu'il veut acheter. Cela nous donne une perspective pour les sacs biodégradables à Madagascar.

1.1.3 Inventaire actuel de quelques sacs biodégradables sur le marché malagasy

Cet inventaire regroupe les sacs industriels ou manufacturés biodégradables ainsi que les produits artisanaux.

a) les sacs industriels ou manufacturés biodégradables à Madagascar :

Le tableau ci-dessous récapitule les quelques types de sacs biodégradables vendus actuellement sur le marché malagasy ainsi que leurs fabricants.

fabricants	Localisation	produits
GASYPLAST	Andraivorona Ambohimalaza	sacs biodégradables et compostables fabriqués à base de fécula de manioc.
SFOI	Zone Forello Tanjombato	sachet compostable et à dégradation accélérée, communément qualifié de biodégradable (articles extrudés en CLEANPLAST)
Enduma	Saropody Tanjombato	Sacs écologiques non tissés « non Woven Bags » Sacs fabriqués avec des matériaux à dégradation accélérée. Leur contenance en calcium permet en cas d'abandon dans la nature, une dégradation accélérée en poudre. Ces sacs peuvent être dégradés au contact de l'eau et du soleil en deux mois.

Tableau 2. types de sacs biodégradables à Madagascar et leurs fabricants

Source : contactgasyplast.com, <http://sfoi.mg> , www.enduma.mg, (W4, W5, W6)



Figure 3. Sac biodégradable et compostable fait à base de fécula de manioc de Gasyplast

Source : Cliché de l'auteur



Figure 4. Sacs écologiques nontissés « non Woven Bags »

Source :

www.enduma.mg/non-woven-bags/(W7)



Figure 5. Sacs poubelles de SFOI

Source : [http://sfoi.mg\(W5\)](http://sfoi.mg(W5))

Les sacs industriels ou manufacturés biodégradables qui sont actuellement sur le marché malagasy sont fabriqués principalement à partir de polymères⁴ biodégradables tels que le polysaccharide, le PLA. Plusieurs produits sont présents sur le marché selon différents formats, tailles, et styles (couleur, sérigraphie, forme) et propriétés en dehors des spécificités caractérisant les fabricants.

c) *Les sacs artisanaux*

Il existe de multitude de sacs de plusieurs formes, tailles, motifs et couleurs. Ces sacs artisanaux se distinguent par ses décorations artistiques évoquant les nombreuses richesses et beautés de la grande île. Ils sont fait principalement des herbacées marécageuses comme le *Lepironia articulata*⁵, le *Cyperus latifolus*⁶, le *Cyperus papyrus*⁷, l' *Eleocharis plantaginea*, *Eleocharis dulcis*⁸ qui appartiennent à la famille des Cypéraceae, le *Typhadomingensis*⁹ à la famille des Typhaceae. Mais aussi des arbres des marécages tels le palmier *Raphia farinifera*¹⁰ appartenant à la famille des Areceae qui est une espèce de plante naturalisée à

⁴ Les polymères sont des macromolécules constitués d'une répétition d'unité moléculaires de base(les monomères)

⁵ « penjy », le « rambo », ou « mahampy »

⁶ « herana »

⁷ « zozoro »

⁸ « harefo »

⁹ « vondro »

¹⁰ « rofia »

Madagascar, le *Ravenala madagascariensis*¹¹ l'espèce endémique appartenant à la famille des Strelitziaceae et le « vakoana » appartenant aux espèces des pandanus. Ces derniers sont renouvelables et recensés à Madagascar.

Les sacs artisanaux malagasy possèdent presque les mêmes fonctions que les autres sacs, et même ils peuvent être utilisés pendant une très longue durée. Seulement leurs couts sont élevés par rapport à ceux des sacs en plastiques ou biodégradables.

Les sacs artisanaux ne sont pas à la portée de tous les utilisateurs, et ne pouvant contenir aucun liquide. Vis-à-vis de ces désavantages, On n'a pas faits des études approfondis les concernant.



Figure 6. Sacs artisanaux

Source : Auteur

d) Les sacs en papier :

Ces sacs en papier sont fabriqués artisanalement à partir d'emballages des résines cellulosiques. Ils sont moins chers mais leurs propriétés mécaniques sont médiocres. Ils sont perméables à l'eau, ont tendance à coller sur les produits et se déchirent facilement. Les sacs en papier ne présentent donc pas des perspectives intéressantes pour substituer les sacs en plastiques.

1.1.4 Etude des polymères biodégradables

Les sacs biodégradables que ce travail intéresse sont faits principalement des polymères biodégradables.

¹¹ « ravinala »

a) Les polymères biodégradables

On peut les classer dans deux grandes familles : les polyesters biodégradables et les agro-polymères selon le schéma ci-dessous.

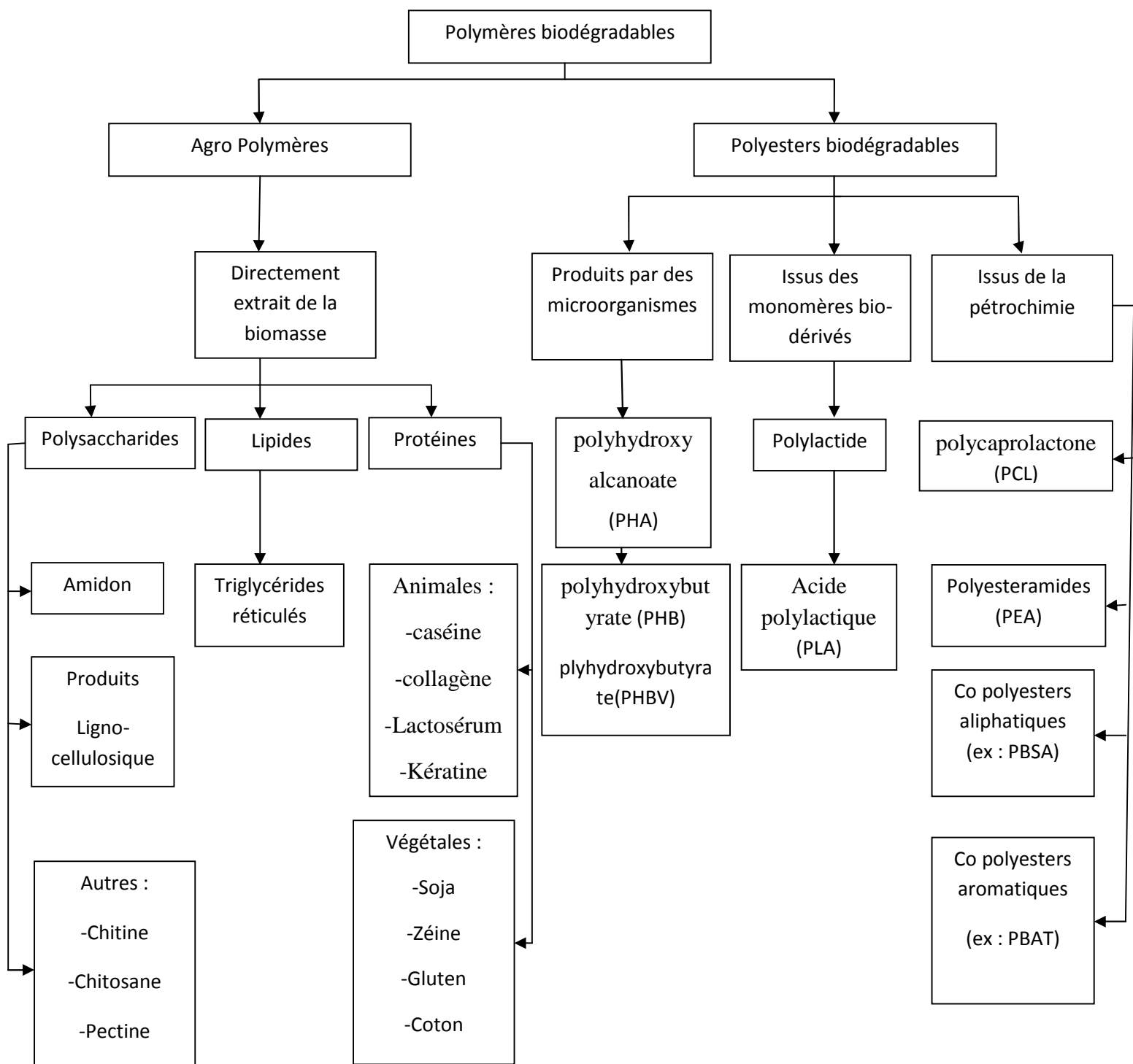


Figure 7. Polymères biodégradables

Source: <https://tel.archives-ouvertes.fr/THESE-andeastanojlovicdavidovic.pdf> (W8)

Tous les types de polymères dans ce classement (à part les polyesters issus de la pétrochimie) proviennent des ressources renouvelables.

Le tableau suivant montre les formules chimiques de quelques polymères biodégradables

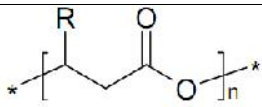
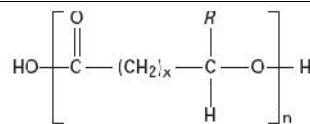
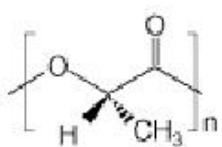
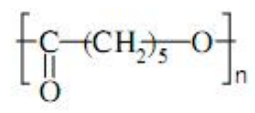
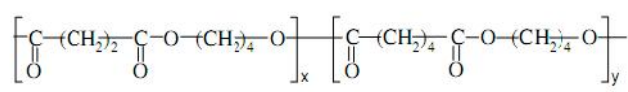
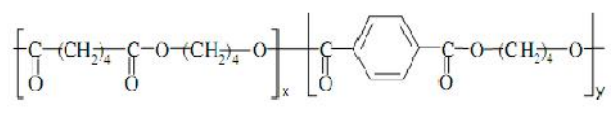
Symboles	Nomenclature	Formules semi-développées
PHA	polyhydroxyalcanoate	 <p>avec: $R = -(CH_2)_x-CH_3$, $x \geq 0$</p>
PHB	polyhydroxybutyrate	 <p>$R = CH_3$</p>
PLA	acide polylactique ou acide 2-hydroxypropanoïque	<p>$- [O-CH(CH_3)-CO-]_n -$ où</p> 
PCL	polycaprolactone	 <p>Issus de la pétrochimie : biodégradable dû à leurs liaisons hydrolysables</p>
PBSA	polybutylène succinate co-adipate	 <p>Issus de la pétrochimie : biodégradable dû à leurs liaisons hydrolysables</p>
PBAT	polybutylène adipate co- téréphtalate	 <p>Issus de la pétrochimie : biodégradable dû à leurs liaisons hydrolysables</p>

Tableau 3. Formules chimiques de quelques polymères biodégradables

Source : www.materiatech-carma.net/ plastiprof.fr/ISPA-Bioplastique2010 (W1, B2, W9)

b) Quelques exemples de matière biodégradables issus des polymères biodégradables:(quelques applications)

On peut utiliser maintenant ces bioplastiques pour fabriquer des emballages agroalimentaires ou cosmétiques, des articles de bureau (stylo, classeur), des textiles (fibre non tissés, vêtement,...), des piluliers, des gélules, des produits hi Tech (téléphone, ordinateur portable, TV), des sacheries, des vaisselles jetables, des pots utilisés en agriculture,...

Dans le domaine médical et pharmaceutique, les bioplastiques peuvent être utilisés dans des pièces cardiovasculaires, des emballages de médicaments qui se dégradent après la date limite d'utilisation des médicaments. Le développement des bioplastiques est une grande avancée pour le corps médical car le bioplastique est facilement dégradable dans l'organisme humain. Une qualité essentielle qui peut servir dans la fabrication de vaisseaux sanguins artificiels, de fils de suture, de broches et de prothèses chirurgicales ou même pour le médicament délivrés très lentement dans le corps.

Et maintenant, on trouve même des produits hi Tech fabriqués principalement en bioplastique. Les pays d'Asie sont les premiers producteurs au monde des produits hi Tech en bioplastique.



Figure 8. Stylos/classeurs

Source : ISPA-Bioplastique, 2010(B2)



Figure 11. Fibres non tissés/vêtement en PLA

Source : ISPA-Bioplastique, 2010(B2)



Figure 9. Pilluliers/gélules

Source : ISPA-Bioplastique, 2010(B2)



Figure 12. Gobelets/couverts/assiettes jetables en PHA et/ouPLA

Source : plastiprof.fr/ISPA-Bioplastique, 2010(B2)



Figure 10. Pots à fleur fait à partir d'un mélange d'amidon et de Co polyester biodégradables

Source : ISPA-Bioplastique, 2010(B2)



Figure 13. Téléphone hi Tech formé principalement biocomposite PLA et de fibres végétales

Source : plastiprof.fr/ISPA-Bioplastique, 2010(B2)

c) Analyse de quelques polymères biodégradables utilisés dans la fabrication des sacs :

Les polysaccharides (Pavlov, B., 1977) (B3)

Les glucides se divisent en deux groupes fondamentaux :

- les oses¹² ;
- les osides¹³.

Les osides se subdivisent également en deux groupes :

- holosides micromoléculaires ;
- holosides macromoléculaires.

L'amidon et la cellulose sont des holosides macromoléculaires c'est-à-dire à poids moléculaires élevés qui appartiennent au groupe des osides et ce dernier fait partie des glucides.

On va analyser séparément ces deux holosides macromoléculaires ;

L'amidon :



Figure 14. source d'amidon

Source : [www.culturesciences.fr/les polymères naturels.pdf](http://www.culturesciences.fr/les_polymères_naturels.pdf)(W10)

¹² Les oses ou glucoses, monosaccharides ou monoses

¹³ Les osides ou glucosides, polysaccharides ou polyoses

Formule brute	$(C_6H_{12}O_5)_x$
Principales Sources	Céréales : blé, maïs, riz, ... Tubercules : pommes de terre, manioc, ... légumineuses.
Composition	Il est constitué seulement de deux polymères différents : l'amylose l'amylopectine
Hydrolyse	$(C_6H_{12}O_5)_x + x H_2O \longrightarrow x C_6H_{12}O_6$ <p>Amidon glucose</p> <p>l'amidon s'hydrolyse partiellement en glucides plus simples. Il se transforme d'abord en amidon soluble (amidon qui se dissout dans l'eau chaude sans former de l'empois d'amidon), qui est ensuite dissocié en dextrines. L'hydrolyse des dextrines donne du maltose. La molécule de maltose se dissocie en deux molécules de glucose.</p>
Propriétés	<p>Se colore en violette en présence d'iode (amylose en rose et l'amylopectine en bleus)</p> <p>Ne décolore pas la liqueur de fehling</p> <p>Insoluble dans l'eau froide jusqu'à une certaine température</p> <p>Mais à chaud, forme de l'empois d'amidon</p>

Tableau 4. Caractéristiques de l'amidon

Source : Pavlov, 1977. (B3)

L'amylose

L'amylose est un polymère de glucose qui possède une structure linéaire. Sa formule brute est identique à celle de l'amidon .Une molécule d'amylose est constitué de 200 à 1000 répétitions d' D-glucose. Il est constitué de l'enchaînement n fois de cette molécule. Celle-ci sont reliées ensemble par le groupement OH que l'on retrouve au début de la molécule. Une fois liées, les molécules vont former une chaine de molécule qui prendra dans l'espace une forme de spirale avec une boucle formée de six D-glucose.

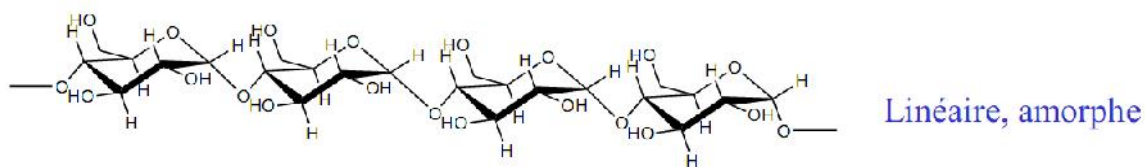


Figure 15. Amylose

Source: [www.culturesciences.fr/les polymères naturels.pdf](http://www.culturesciences.fr/les_polymères_naturels.pdf)(W10)

L'amylopectine :

L'amylopectine a la même formule chimique que l'amylose mais elle se diffère par la structure. Celle-ci possède une structure ramifiée. Cette ramification est toujours présente sur le même atome de carbone mais pas sur tous les résidus de glucose. La moyenne d'apparition de ce branchement est d'environ une ramification tous les quatre résidus. Le motif qui se répète dans l'amylopectine est encore une fois l' D-glucose. L'amylopectine est l'ester phosphorique d'un glucide.

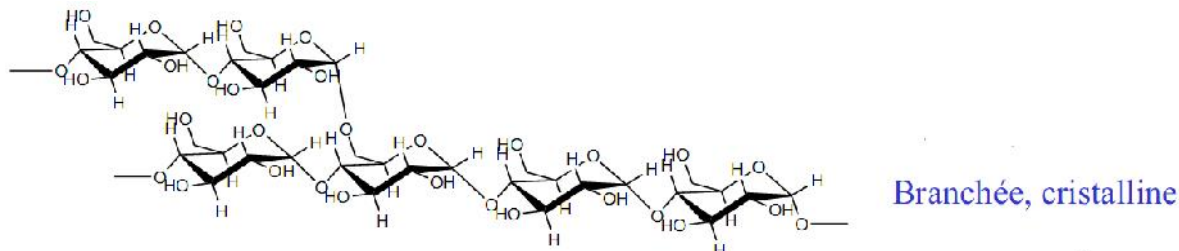


Figure 16. Amylopectine

Source: [www.culturesciences.fr/les polymères naturels.pdf](http://www.culturesciences.fr/les_polymères_naturels.pdf)(W10)

Le rapport quantitatif d'amylopectine et d'amylose dépend de la ressource botanique. Il est généralement de 2 à 1. Le tableau ci-après indique le pourcentage d'amylose et d'amylopectine dans quelques sources botaniques.

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Maïs	28	72
Pomme de terre	21	79
Blé	28	72
Riz	17	83
Pois	35	65
Manioc	17	83

Tableau 5. Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques

Source : www.valbiom.be/l'amidonetlePLA.pdf(W11)

La plupart des amidons contiennent 65 à 83% d'amylopectine et 17 à 35% d'amylose. La possibilité pour l'amidon de former un film est principalement due aux ponts hydrogènes entre les longues chaînes non ramifiées de molécules d'amylose. La ramification dans l'amylopectine est donc un inconvénient dans la fabrication des films bioplastiques car elle conduit à une haute fragilité des polymères ainsi conçus.

La cellulose:

Formule brute	$(C_6H_{12}O_5)_x$
Principales Sources	coton, lin, chanvre, bois,....
Les polymères naturels dérivés de cellulose	<ul style="list-style-type: none"> -Hydroxypropylméthyl cellulose, -Hydroxypropyl Cellulose, -Acétate de cellulose (fibres textiles, montures des lunettes,...), -Hydroxy éthyle cellulose (épaississant pour les shampoings,...), -Ether de cellulose:(gélifiant alimentaire et pharmaceutique, épaississant pour peinture, colle, ...), -Ouate de cellulose (isolant thermique et phonique, sous forme de panneaux),

Tableau 6. Caractéristiques de la cellulose

Source : Pavlov, B., 1977(B3)

La cellulose ($C_6H_{12}O_5$)_x est le constituant essentiel des enveloppes des cellules végétales. Généralement, elle ne s'y trouve pas à l'état pur mais accompagnée de substances dites « incrustes ». La cellulose naturelle la plus pure est la fibre de coton qui renferme 85 à 90% de cellulose et 6 à 8% d'eau; les arbres à feuille beaucoup moins.

La cellulose est un des polymères pouvant être utilisés pour la fabrication des papiers et des emballages à partir desquelles des sacs biodégradables peuvent être conçus. Mais comme on a dit précédemment, la fragilité des sacs en papier est l'une des obstacles dans le développement de ce secteur.

d) *Extraction des polymères biodégradables :*

La méthode d'extraction des polymères a notamment des conséquences sur les propriétés des matières ainsi conçus. D'une manière générale, on a 3 méthodes pour extraire les polymères biodégradables. (Davidovic Stanojlovic, A. 2007) (B4)

Méthode 1 : Extraction simple.

Cette méthode consiste à extraire des polymères existant naturellement dans certaines plantes, puis de procéder à leur purification (transformation chimique ou physico-chimiques non destructives). La cellulose extraite des parois cellulaires de certaines plantes (bois, coton, maïs, blé...) et l'amidon qui se trouve dans les tissus (maïs, pomme de terre, blé, manioc...) peuvent être extraites suivant cette méthode.

Méthode 2 : Transformation de la matière végétale en agro matériau.

La deuxième méthode s'appuie sur les propriétés fonctionnelles des constituants d'une plante sans les extraire (plante de maïs entière par exemple), mais en procédant à la transformation in situ dans la matière première végétale : séchage, broyage, déstructuration, plastification, homogénéisation. On obtient ainsi un composite formé d'une phase thermoplastique, ou thermodurcissable dite continue, et d'une phase fibreuse, de renfort, dite discontinue

Méthode 3 : Dépolymérisation et transformation de la matière végétale

Dans cette méthode, on a plusieurs stratégies :

➤ L'élaboration de polymères thermoplastiques de synthèse par biotechnologies

Dans cette stratégie, on produit des matières plastiques par fermentation et on distingue :

- Elaboration par biosynthèse simple :

Les bactéries utilisent le sucre des plantes, comme combustible pour réaliser leurs processus cellulaires, c'est ce que l'on nomme « fermentation ». Le sous-produit qui en découle est le polymère. On sépare ensuite les polymères des cellules bactériennes. Cette méthode est exploitée pour la production de polysaccharides bactériens comme le xanthane ou le gellane ainsi que pour la préparation de polyesters bactériens : les polythioesters et les polyhydroxyalkanoates (PHA). Ce procédé est aussi celui exploré pour l'élaboration des polyamides.

- Production par technologies combinées (fermentation + transformation) :

Résultant aussi de fermentation de matières sucrées à partir de bactéries, mais le produit n'est pas directement un polymère. Un exemple direct est la production des PLA, on obtient d'abord l'acide lactique et ensuite on le transforme en acide polylactique par des méthodes de polymérisation classique. Le PLA offre aujourd'hui les plus larges perspectives de développement industrielles. On les utilise pour des multiples applications (films, sacs, emballages, objets moulés, fibres textiles, etc.)

➤ La stratégie OGM : Fabrication de matières plastiques dans des plantes

Aujourd'hui, des chercheurs se servent de plantes comme support de fabrication de matières plastiques. Ils ont par exemple créé, par génie génétique, une nouvelle variété d'Arabette des dames, *Arabidopsisthaliana*, qui renferme l'enzyme utilisée par les bactéries pour produire des matières plastiques. Les bactéries produisent les matières plastiques en transformant la lumière solaire en énergie. Les chercheurs ont inséré dans la plante le gène qui code pour cette enzyme, ce qui lui permet de produire le plastique par l'entremise de ses mécanismes cellulaires. On récolte la plante et on en extrait le plastique au moyen d'un solvant. La distillation du liquide obtenu permet ensuite de séparer le solvant du plastique. Le polyhydroxybutyrate (PHB) est un des biopolymères obtenu grâce au génie transgénique des végétaux oléagineux. Une équipe de l'Université de Tokyo a réussi à synthétiser du PHB dans une pomme de terre, *Solanum tuberosum*.

Des polymères biodégradables utilisés dans les fabrications des sacs sont principalement l'amidon, la cellulose qui est extrait suivant la première méthode, le PLA, le PHB qui sont extraits suivant la troisième méthode.

I.2 Matières plastiques

Depuis longtemps, les plastiques ont été les principales matières utilisées pour les emballages et les sacs. Selon la « Environment Protection Agency » (EPA), entre cinq cent milliard et mille milliard de sacs plastiques seraient utilisés dans le monde soit 1,5% de la production de plastiques sachant que 4% de la consommation de pétrole sont réservées pour la fabrication des matières plastiques. (Quillez, P., 2011). (B5)

I.2.1 Terminologies utilisées

Plastique

On appelle plastique une matière synthétique constituée de macromolécules désignant une famille importante de plus de 700 types de matières fabriquées à partir du pétrole

Matière plastique = résine de base + adjuvants + additifs

D'après Baekeland¹⁴ en 1909 : «Le plastique est un substantif masculin, c'est le terme générique pour définir une famille de matières fabriquées à base de pétrole qui produit les molécules chimiques de base (les monomères : éthylène, propylène, ... assemblés ensuite entre elles sous forme de chaînes linéaires ou de réseau) »

a) Résine de base des plastiques

Les résines de base des plastiques sont constituées à partir des polymères.

Trois grandes familles de polymères peuvent être distinguées : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

¹⁴Baekeland qui a créé par erreur le 1er plastique entièrement synthétique

Famille	Les thermoplastiques	Les thermodurcissables	Les élastomères
Type de polymère	polymères composés de chaînes macromoléculaires linéaires ou avec ramifications	polymères réticulés ¹⁵ ou en réseau	polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles.
Caractéristique	Le polymère se ramollit, peut se déformer et être mis en forme.	la mobilité thermique est réduite. Une fois moulés, ils prennent une forme définitive	Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale).
Exemples	Polycarbonate(PC), Polyamide (Nylon), Polystyrène (PS, PSE), Polyéthylène (PEHD, PEBD), Polypropylène(PP), Polychlorure de Vinyle (PVC), ...	Phénoplastes (Bakélite®), Polyépoxydes (Araldite®), Polyuréthannes(les silicones....) ...	Caoutchouc naturel(NR), polychloroprène (Néoprène), polysiloxanes (silicones)...

Tableau 7. types de plastiques et ses caractéristiques

Source: Cercle Nationale du Recyclage, 1999. (B6)

b) Les additifs ou adjuvants

Pour donner aux plastiques les caractéristiques qui répondent à nos besoins, on y ajoute des éléments (chlore, azote, etc..) sous forme d'additifs ou adjuvants.

¹⁵Contenant des nœuds entre les chaînes macromoléculaires

➤ Les charges :

Minérales (verre, carbone, talc, ...), métalliques (aluminium, ...) ou organiques (farine de bois), les charges améliorent la rigidité et l'adhésivité des matières plastiques mais agissent également sur leur résistance chimique, leur isolation électrique et thermique.

➤ Les plastifiants

Contrairement aux charges, les plastifiants sont utilisés pour abaisser la rigidité des matières plastiques. Leur présence peut être permanente ou temporaire (introduits lors de la synthèse des polymères, ils en facilitent la mise en œuvre et sont ensuite éliminés).

➤ Les stabilisants

Différents stabilisateurs chimiques, les antioxydants par exemple, empêchent la dégradation des polymères lors de leur transformation en le stabilisant contre les effets de la température, de l'oxygène et du rayonnement UV.

➤ Les lubrifiants

Les lubrifiants tels que les cires et paraffines facilitent la mise en œuvre des polymères et réduisent leur adhérence aux parois des machines de transformation. Des lubrifiants solides peuvent également être ajoutés pour améliorer les propriétés de glissement et d'usure des matières plastiques.

➤ Les colorants et pigments

Les colorants et pigments permettent de donner une couleur particulière aux matières plastiques qui sont en général incolores à l'état pur. En plus de la coloration, les pigments peuvent également se comporter comme des charges.

➤ Les retardateurs de flamme ou ignifugeants

Ces additifs permettent aux matières plastiques de mieux résister au feu. Ils sont très utilisés dans la fabrication de matériaux pour la construction et l'aménagement intérieur.

➤ Les agents antistatiques

Introduits dans les matières plastiques, ces additifs permettent de réduire le dépôt de poussière sur les produits finis.

Ce sont en partie, ces additifs ou adjuvants qui confèrent aux plastiques leur non biodégradabilité. A titre d'exemple, les métaux lourds.

1.2.2 Utilisation et avantages incontournables des plastiques

Les plastiques sont partout : les emballages, les matériaux de construction, les éléments de voiture, les bouteilles, les habits, l'électronique, les jouets, les accessoires médicaux, ...

Les raisons qui justifient ce grand intérêt incontournable sont multiples, ils sont économiques, légers, faciles à transformer, transparents ou opaques, mats ou brillants, doux ou granités, rigides ou souples, incassables à froid ou résistants aux températures élevées, perméables ou barrières à l'oxygène, à l'humidité selon la nécessité, chimiquement inertes en contact avec les aliments ou les médicaments, hygiéniques et inaltérables. Les plastiques sont facilement manipulables et contribuent en grande partie à l'amélioration de notre hygiène de vie.

Ce sont pour ces multiples raisons que les plastiques ne peuvent pas sortir intégralement de notre vie quotidienne et que les bioplastiques ne peuvent pas jusqu'à maintenant concurrencer.

La production mondiale et européenne des matières plastiques est donnée dans la figure ci-après :

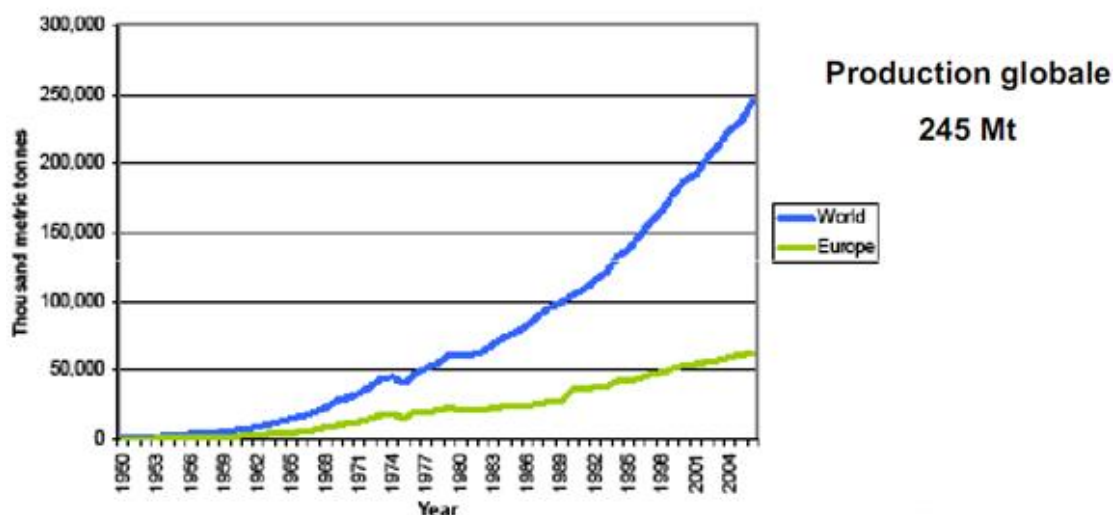


Figure 17. Production mondiale et européenne des matières plastiques en 2007

Source : PlasticsEurope, 2007

La production mondiale des matières plastiques remonte à 245 milles de tonnes en 2007. Si dans le monde, on a cette énorme quantité. Quel est l'envergure les déchets en plastiques à Madagascar ?

1.2.3 Quantités de déchets plastiques à Antananarivo

Nous avons effectués des enquêtes auprès du SAMVA. D'après la loi 95-035 du 03 Octobre 1995, le SAMVA a pour mission la collecte, le transport, la mise en dépôt des déchets ménagers dans la ville d'Antananarivo et la gestion de la décharge municipale d'Andralanitra. Il intervient également dans le domaine de l'assainissement liquide et des excréta.

Selon l'analyse des résultats procurés par le SAMVA. Les compositions des déchets collectés sont généralement données dans le tableau ci-après.

CATEGORIES	RESULTATS GLOBAUX (En pourcentage)
DECHETS FERMENTES CIBLES	
Déchets alimentaires	7,90
Déchets de jardin	37,47
PAPIERS	1,69
CARTONS	1,84
COMPOSITES	0,34
TEXTILES	1,86
TEXTILES SANITAIRES	1,59
PLASTIQUES	
PET (bouteille)	0,14
PVC (bouteille)	0,15
film plastique	4,43
Autres : Pot yaourt/barquette plastique	1,07
COMBUSTIBLES NON CLASSES	2,35
VERRES	0,76
METAUX	1,29
INCOMBUSTIBLES NON CLASSES	3,71
DECHETS SPECIAUX	0,12
FINES < 20 mm	33,27
TOTAL	100,00

Tableau 8. Composition Ordures Ménagères de la CUA

Source : SAMVA, 2014

D'après ce tableau, les déchets fermentescibles (déchets alimentaires, déchets de jardin, papiers, cartons,...) constituent la plus grande parties des déchets ménagères soit 52,69%. Les plastiques arrivent en troisième et constituent environ 6% des déchets collectés par le SAMVA dans la ville d'Antananarivo soit 10 488 tonnes en 2014.

La figure ci-dessous traduit le tableau sous forme de graphe

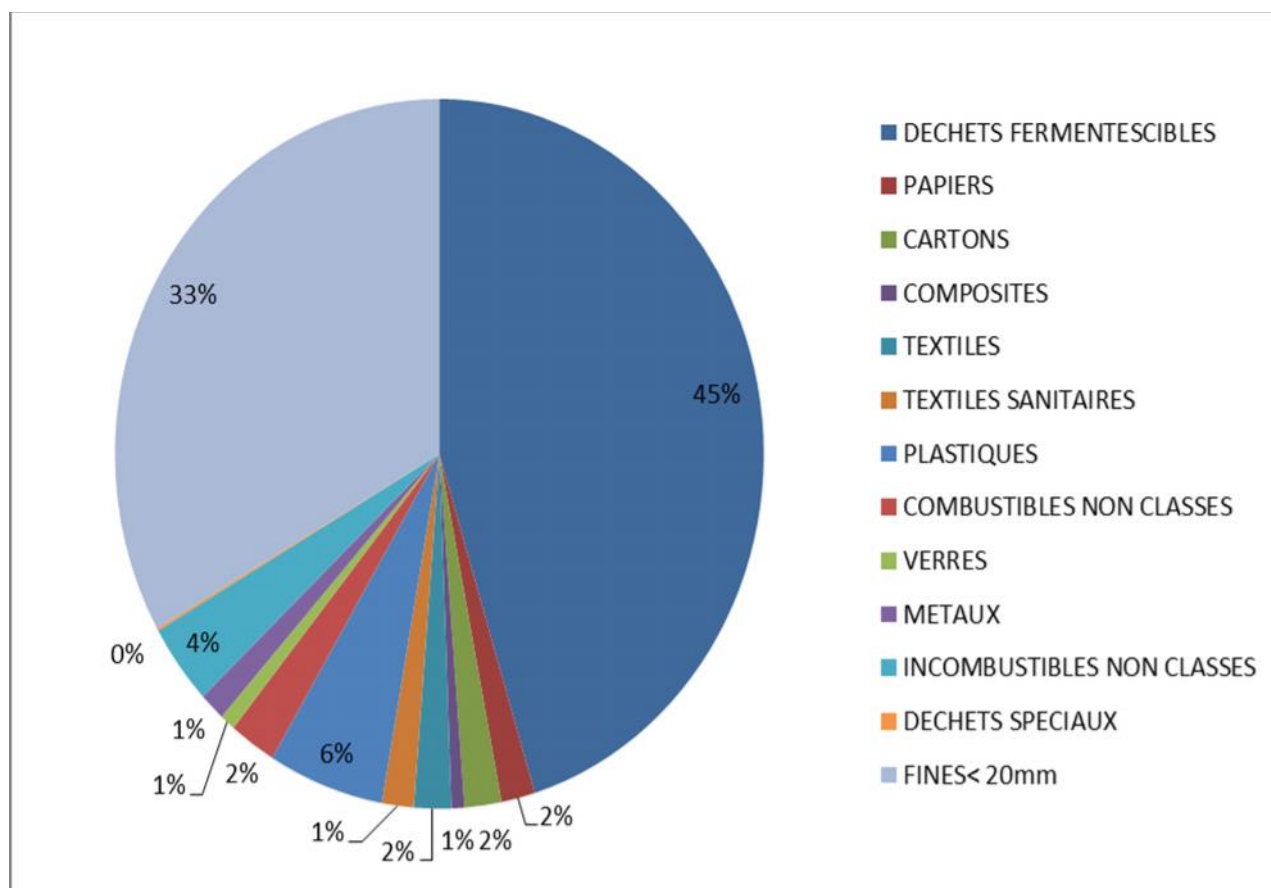


Figure 18. Compositions des ordures ménagères

Source : SAMVA

Les déchets en plastiques sont représentés en bleu turquoise sur la figure, Ils ont la 3^{ème} plus grands pourcentage des déchets en générale collectés par le SAMVA après les déchets fermentescible (en indigo) et des fines, granulat composé d'éléments de très petites dimensions (en bleu turquoise clair).

Le film plastique constitue la plus grande partie des déchets plastiques qui se trouvent dans les ordures ménagères d'Antananarivo. C'est ce que le graphe suivant nous révèle.

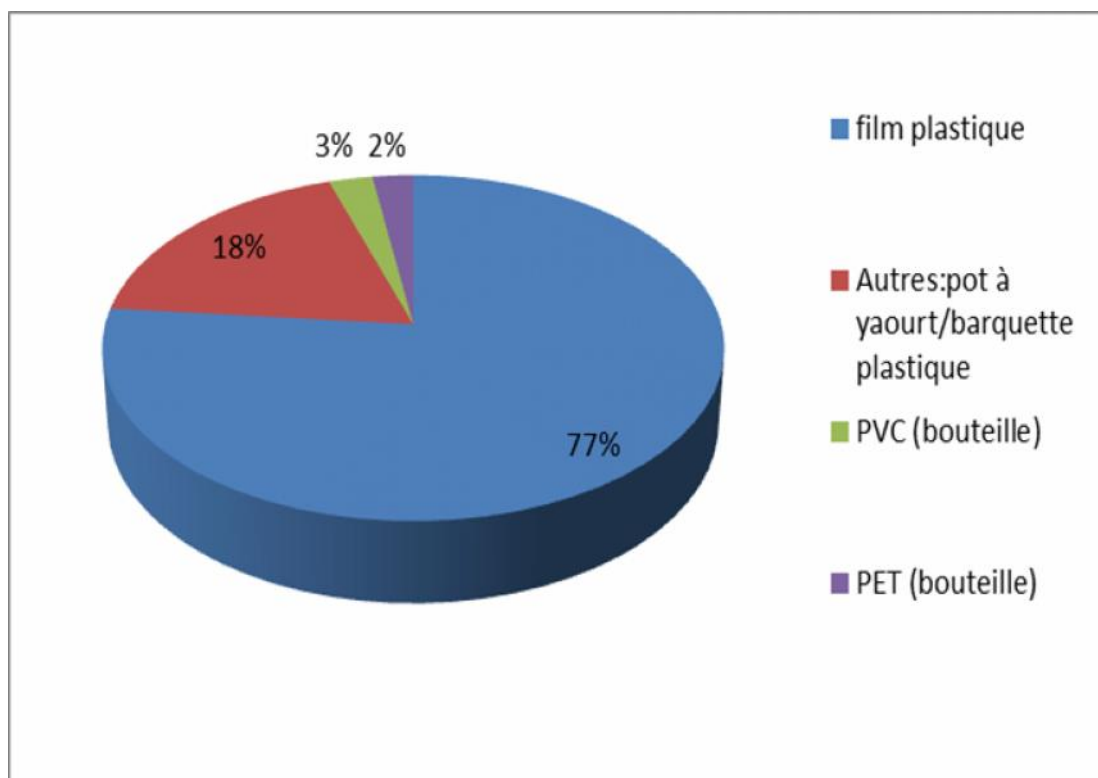


Figure 19. Compositions des déchets plastiques collectés par SAMVA

Source : SAMVA

Les films plastiques constituent les 77% des déchets plastiques collectés par le SAMVA .

Les demandes en plastiques ne cesse d'augmenter chaque année, ce n'est pas étonnant que les déchets sont ingérables.

L'évolution de la quantité collectée par le SAMVA de 1998 à 2014 des déchets plastiques et des déchets de films plastiques, selon les données fournis par le SAMVA sont résumés dans le tableau ci –après.

ANNEES	TONNAGE DES DECHETS EN GENERALES	TONNAGE DES DECHETS EN PLASTIQUES
1998	60 549	3 506
1999	98 002	5 674
2000	152 126	8 808
2001	124 730	7 222
2002	151 182	8 753
2003	197 833	11 455
2004	189 409	10 967
2005	167 710	9 710
2006	183 315	10 614
2007	176 269	10 206
2008	187 843	10 876
2009	216 948	12 561
2010	243 414	14 094
2011	178 003	10 306
2012	184 295	10 671
2013	178 275	10 322
2014	181 147	10 488

Tableau 9. évolutions de la quantité collectée de 1998 en 2014

Source : SAMVA

D’après ces données , la quantité des déchets plastiques dans la ville d’Antananarivo varie entre 3 500 tonnes à 10 500 tonnes de 1998 en 2014 et la quantité des déchets de film plastique varie entre 2 600 tonnes à 8 000 tonnes. La quantité des déchets plastiques évolue en moyenne de 411tonnes /an.

Ces déchets sont déposés à Andralanitra qui est localisé dans la commune d’Ambohimangakely, fokontany d’Ikianja à environ 9 km du centre-ville. En plus des déchets collectés par le SAMVA ; Le site de décharge d’Andralanitra reçoit également les déchets des entreprises de production et de service dans la ville d’Antananarivo (comme CLEANLINESS,

UCODIS,...) ainsi que les déchets des particuliers et des commerçants de la zone urbaine environnante et de la commune d'Ambohimangakely.

En plus des tonnages, les déchets sont d'autant plus encombrants dans ce site d'après les données du tableau de SAMVA (voir annexe 3).

1.2.4 Caractéristiques des sacs en plastiques

Les sacs en plastiques sont généralement composés de polyéthylène haute densité (PEHD) ou de polyéthylène basse densité (PEBD) pour les sacs plus épais et de polypropylène(PP). Les sacs en plastiques sont obtenus par le procédé d'extrusion-gonflage. On procède à l'extrusion à paroi mince qui est ensuite gonflée à l'air en surpression ; on forme ainsi en flux continu une gaine gonflée de film plastique qui, une fois refroidie, va pouvoir être bobinée pour être ensuite imprimée et thermo soudée à une extrémité. Le polyéthylène est un plastique obtenu par polymérisation de l'éthylène, il appartient à la famille des matériaux thermoplastiques, c'est-à-dire qu'il peut se ramollir, se déformer et être remise en forme .Pourtant, ils sont difficilement recyclable et leur valorisation conduisent à l'intoxication de l'air. Les causes de ces faits seront profondément étudiées dans le chapitre suivant.(CSMEP, janvier 2004) (B7)

Dans le monde, d'après la world Watch Institute dans « state of the world 2004 » 4 à 5000 milliards de sacs plastiques étaient produits en 2002¹⁶. Pourtant un sac en plastique c'est 1seconde de fabrication, 20 minutes d'utilisation en moyenne et 100 à 400ans de dégradation dans la nature¹⁷.A la fin de leur usage, ils vont se terminer principalement dans les rues (mangés par les animaux), les sites d'enfouissement (pollution des sols) et les réseaux d'égouts (pollution de l'eau).

A Madagascar, les sachets en plastiques sont produits par des sociétés comme SFOI, Enduma,...

¹⁶ www.notre-planete.info (w12)

¹⁷ www.rodezagglo.fr(W13)

Le tableau suivant résume les quelques types de sachets en plastiques sur le marché malagasy et ses caractéristiques, ainsi que leurs fabricants.

fabricant	description	Localisation	photos
SFOI	Sacs en PEHD et en PEBD	Bp.132, Antananarivo	
Enduma	Sacs en polypropylène tissé à dimension standard et sur commande	Saropody Tanjombato	

Tableau 10. Type, caractéristique de sachets en plastiques et fabricants

Source : <http://sfoi.mg>, www.eduma.mg consulté le 22/06/2016 (W5, W6)

Ces sachets en plastiques produits par SFOI, d'une épaisseur de 50µm sont conformes aux exigences du décret N° 2014-1587 du 07 octobre 2014. Ce dernier est largement décrit dans le prochain chapitre.

Ce premier chapitre a défini les généralités sur les matériaux de fabrication des sacs, il est axé sur les inventaires des produits biodégradables et plastiques. Dans la suite de ce mémoire, on va étudier les méfaits des plastiques et les cadres réglementaires en vigueur sont étudiés.

Chapitre 2 : Etudes des méfaits des déchets plastiques et quelques références textuelles

II.1 Effets des déchets plastiques sur l'environnement et sur la santé

II.1.1 Effets sur l'environnement

Un des nombreux événements illustrant la pollution due aux déchets plastiques est le « continent » de déchets le « Trash Vortex » qui recouvre 3,5 millions de km² dans l'Océan Pacifique Nord. Le « trash vortex » est constitué de 100 millions de tonnes de débris plastiques flottant qui est en train de détruire la faune et la flore marine du Pacifique. En effet, on estime que plus d'un million d'oiseaux marins et plus de 100.000 mammifères marins meurent chaque année à cause de l'ingestion de débris plastiques, comme par exemple les tortues qui confondent les méduses et les sacs en plastiques.

Les déchets plastiques conduisent à l'imperméabilisation des sols qui entraîne une insuffisance de la recharge de la nappe phréatique, d'où une diminution des ressources en eau.

Au point de vue agronomique, les fragments remontent en surface lors des opérations de travail de sol.

Les plastiques augmentent l'érosion des terres légères, car, en effet, la pollution par les métaux lourds présents dans les plastiques ou d'autres polluants tue les organismes essentiels pour entretenir la cohésion et la capillarité du sol (champignon, vers de terre,...).

Les déchets plastiques contribuent également à l'enlaidissement de notre cadre de vie, en offrant un spectacle désolant aux abords des habitations ou dans les lieux publics ou qui sont suspendus aux branches des arbres.

Et à Madagascar, dans la grande ville d'Antananarivo, les déchets plastiques bouchent les canaux d'évacuation, qui entraîne la stagnation des eaux usées, provoquant ainsi des inondations surtout en saison pluvieuse dans les bas quartiers (Besarety, Andranomanalina,...).



Figure 20. déchets plastiques/ partie obstruée de canaux d'évacuation d'Andriantany.

Source : Auteur



Figure 21. Trash vortex

Source : <http://sprinterlife.com/2012/01/pacific-trash-vortex.html> (W13)

II.1.2 Effets sur la santé

Des études récentes sur le Bisphénol A et les phtalates, qui sont des produits chimiques présents dans les plastiques, montrent que ces derniers peuvent causer des maladies comme le cancer¹⁸. Le Bisphénol A passe facilement des contenants des produits alimentaires au contenus, notamment quand ils sont chauffés, y compris dans un four à microondes .C'est donc par l'alimentation que l'homme est le plus exposé au Bisphénol A. Le Bisphénol A est un perturbateur endocrinien, il modifie la structure ou les fonctions endocrinien, l'ensemble du système hormonale de l'organisme et qui provoque des effets indésirables chez des

¹⁸ www.plateforme-resources.org , www.notre-planete.info (W15, W12)

individus et leur progéniture, ou sur des populations entières. Le Bisphénol A est utilisé dans les plastiques de type polycarbonates afin de les rendre plus durs et plus résilient.

L'incinération des matières plastiques est aussi toxique pour la santé humaine. En effet, lors de l'incinération, on distingue deux types de gaz qui sont toxiques à l'homme(B11) :

➤ Ceux qui perturbent la distribution ou l'utilisation de l'oxygène dans l'organisme. A titre d'exemple le monoxyde de carbone qui se combine de façon réversible mais préférentielle avec l'hémoglobine. La carboxyhémoglobine formée diminue les capacités de transport de l'oxygène. Elle gêne la libération et l'utilisation de l'oxygène dans les cellules. Le monoxyde de carbone possède une toxicité cellulaire propre ; il traverse la barrière placentaire et peut se fixer sur l'hémoglobine fœtale avec des graves conséquences possibles sur l'évolution de la grossesse. Le monoxyde de carbone peut entraîner des maux de tête, des vertiges, des comas et voire même la mort immédiate suivant sa teneur dans l'atmosphère.

➤ Ceux qui ont une action corrosive sur les voies respiratoires. A titre d'exemple le chlorure d'hydrogène(HCl) qui se dissout dans l'eau pour donner l'acide chlorhydrique qui est un acide corrosif, en effet après inhalation de chlorure d'hydrogène, l'acide chlorhydrique formé attaque les muqueuses ce qui peut provoquer des graves lésions des voies respiratoires et entraîner l'asphyxie et la mort. Autre exemple, le dioxyde de soufre SO₂ qui est un gaz lourd, d'odeur piquante et toxique. Il se dissout dans l'eau pour donner une solution acide très irritante pour les muqueuses de l'œil et des voies respiratoires. Ce gaz est très irritant et devient insupportable bien en dessous de la dose létale.

L'émission des polluants organiques persistants notamment les dioxines et furannes¹⁹, produits dans les plastiques sont cancérigènes et conduisent à une incapacité de se reproduire chez toutes les espèces animales étudiées (poisson, oiseau ou mammifère).

Enfin, dans le cadre de l'élevage, les déchets plastiques entraînent la destruction de cheptel suite à l'ingestion du plastique par les animaux.

a) Autres méfaits

¹⁹ Les termes dioxines et furannes désignent respectivement l'ensemble des 75 isomères du polychlorodibenzo-para-dioxine (PCDD) et de 135 isomères du polychlorodibenzofurane (PCDF). Le nombre d'atomes de chlore sur ces molécules détermine la toxicité du composé. Plus ce nombre est élevé plus ces molécules sont toxiques.

La consommation de pétrole pour la fabrication des plastiques contribue à la diminution des réserves de pétrole facilement accessibles entraînant ainsi la hausse des prix d'un baril de pétrole et son non disponibilité

II.2 Textes réglementaires

II.2.1 *Cadre international*(HEC MONTREAL,2011)(B5)

Vu les impacts causés par les sachets en plastiques sur l'environnement, plusieurs pays ont pris des mesures. Trois types de dispositions ont été recensés jusqu'à ce jour : l'interdiction, la taxation et le recyclage.

Des décrets ont été promulgués concernant l'interdiction de la production, la commercialisation et l'utilisation des sacs plastiques dans divers pays comme la Chine, l'Inde, et Madagascar.

D'autres pays comme l'Irlande et la Belgique adoptent la taxation. Pour l'Irlande, une taxe de 0,15 euros est imposée au client pour chaque sac en plastique consommé sauf pour les sacs réutilisables dont le coût de vente est supérieur à 0,70 euros et ceux utilisés pour la protection de certains aliments, comme les viandes. C'est la politique du « pollueur-payeur ». Les sommes collectées sont versés au fonds pour l'environnement de l'Etat et vont servir à promouvoir le recyclage et le traitement des déchets.

Et enfin, le recyclage est préconisé aux Etats-Unis et au Québec. Pour les Etats-Unis, de nombreux Etats et villes américains ont mis en place une réglementation pour collecter et recycler les sacs plastiques. En août 2009, l'état du Delaware a voté une loi pour que les magasins de plus de 7000 pieds carrés ou les chaînes qui ont plus de trois magasins au Delaware mettent en place un programme de collecte des sacs en plastiques. La loi stipule également que ces magasins doivent fournir des sacs réutilisables à leurs usagers.

Concernant la disposition d'interdiction, ce dernier a diminué la consommation des sacs en plastiques, et sensibilise les gens aux problèmes environnementaux, les gens ont ainsi recours aux sacs réutilisables ou utilisent leurs propres sacs. Pourtant, certains manufacturiers produisent deux types de sacs : des sacs légaux pour répondre aux inspections et des sacs illégaux vendus aux supermarchés et donnés aux consommateurs²⁰.

²⁰ www.plateforme-resources.org , [www.notre-planete.info\(W15, W12\)](http://www.notre-planete.info(W15,W12))

Les résultats de la politique de taxation des sacs en plastique ont été le plus surprenants. Les gens sont plus sensibilisés quand il s'agit de leur argent et vu qu'on a taxé l'utilisation des sachets, les gens ont recours à d'autres sacs comme les sacs biodégradables.

Il est difficile de mesurer les impacts réels du recyclage aux Etats-Unis, car cette politique n'a été mise en place que depuis ces dernières années.

II.2.2 Cadre national

Madagascar a adopté la disposition d'interdiction, conformément au décret n°2014 – 1587. Ce décret a été promulgué par le Ministère de l'environnement, de l'écologie et des forêts et a interdit les sacs et sachets en plastiques d'épaisseur inférieure ou égale à 50 microns quelle que soit la densité et la dimension en longueur et en largeur, à bretelle ou à poignée sauf les sachets et les sacs en plastiques servant d'emballage pour les produits médicaux (article 3)²¹.

Analyse des résultats sur l'application du décret :

On a constaté les résultats suivants :

- La consommation des sachets en plastiques diminuent ;
- les gens commencent à acheter des sacs biodégradables et des sacs en papiers ou apportent leurs propres sacs ;
- La vente des sacs artisanaux malagasy locaux se multiplient ;
- les gens sont sensibilisés aux problèmes environnementaux vis-à-vis des sachets en plastiques ;
- les gens utilisent les sachets plus épais réutilisables.

Pourtant, il existe encore des manufacturiers qui continuent informellement de produire des sachets en plastiques, non réglementaires, vendus sur le marché :

Les plastiques ont des effets négatifs sur l'environnement et sur la santé. Des textes réglementaires ont été promulgués afin d'interdire, taxer ou recycler les sacs en plastiques. Le recyclage et la valorisation constituent donc une des solutions abordables pour pallier les méfaits des sachets en plastiques qu'on va étudier dans le prochain chapitre.

²¹ www.commerce.gov.mg/Decret-DCE (W16)

Chapitre 3 : Analyse des difficultés du recyclage et de la valorisation des sachets en plastiques

III.1 Travaux antérieurs réalisés sur le recyclage et la valorisation des sacs en plastiques

Parmi des recherches sur ces thèmes figurent le mémoire de fin d'étude de HERIARIVONY Soaniriana Claudeline. Elle a souligné les différents recyclages et valorisations tant à l'échelle artisanale qu'industrielle. A titre d'exemple, SMTP collecte des déchets des sachets en plastiques transparents pour les recycler en tube orange qui est utilisé pour la protection des conducteurs des câbles électriques dans les constructions. HERIARIVONY a également démontré qu'on peut utiliser les déchets des sacs en plastiques dans la fabrication d'une encaustique en le mélangeant avec de la cire d'abeille et du pétrole. Dans son mémoire, elle a également cités quelques difficultés rencontrées par SMTP sur le recyclage de ces sacs en plastiques. (B12)

Dans ce chapitre, on va étudier les difficultés rencontrées lors des recyclages et de la valorisation des sachets en plastiques.

III.2 Recyclage des sachets en plastiques et problèmes rencontrés.

III .2.1 Mode de recyclage et types de plastiques recyclables

Le recyclage est le « retraitement, dans un processus de production des déchets, aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins ».

En terme industriels ; on distingue :

- Le recyclage des matières (mécanique) : Processus physique de traitement selon lequel des emballages usagés sont régénérés en matières premières secondaires qui servent à fabriquer de nouveaux produits.
- Le recyclage des matières premières (chimique) : procédés physico-chimiques qui décomposent les plastiques en leurs constituants initiaux pouvant être utilisés pour fabriquer des matières plastiques ou d'autres produits.

Tous les plastiques ne sont pas recyclables. Les plastiques thermodurcissables, qui conservent leur forme une fois chauffés sont difficilement recyclables. Rappelons que les plastiques thermodurcissables sont : les phénoplastes, les poly époxydes, les polyuréthanes : PU, les silicones.... A partir desquels sont fabriquées par exemple les colles, résines, vernis, vaisselles,.....

Les déchets des sachets en plastiques sont en polyéthylène donc ils peuvent être recyclés. Pourtant le recyclage se heurte à des nombreux problèmes qu'on va énumérer dans le paragraphe ci-dessous.

III.2.2 Problèmes des recyclages des sachets en plastiques

Les sachets en plastiques sont rarement récupérés en raison:

- De leur légèreté et de leur volume qui complique une logistique de ramassage et de transport particulière ;
- des difficultés rencontrées au niveau du nettoyage : les sachets emprisonnent les saletés et leur lavage nécessite une importante main d'œuvre et un travail pénible et fastidieux;
- le lavage (en rivière) qui ajoute une problématique de salubrité du lieu de travail et nécessite de grands espaces pour les sécher.

D'une manière générale, la méthode de recyclage des sachets en plastiques pour la fabrication de nouvelles matières se heurte aux problèmes de tri et de nettoyage des matières rejetées. Ainsi, Les taux de récupération et de recyclage de ces sacs et des plastiques en général sont plutôt faibles.



Figure 22. Lavage et effilage des sacs en plastiques

Source : slateafrique.com

III.3 Valorisation des sachets en plastiques et sa complexité

III.3.1 Valorisation et type de plastiques valorisables

La valorisation énergétique c'est l'« utilisation de déchets d'emballages combustibles en tant que moyen de production d'énergie, par incinération directe avec ou sans autres déchets, avec récupération de chaleur. »

- 1) La valorisation énergétique s'applique à tous types de plastiques. Elle consiste à transformer un déchet en énergie thermique. Cette énergie sera utilisée pour la production de

chaleur et d'électricité. L'incinération d'un sac en plastique de large size peut alimenter une ampoule de 60W pendant 10 minutes et une tonne de plastique recyclé permet d'économiser 1 à 1,2 tonne de pétrole.²²

III.3.2 Problèmes de la valorisation des plastiques

La valorisation énergétique de toutes matières plastiques, entre autre les sachets en plastiques se confronte à la nécessité du retraitement des fumées, en particulier pour les plastiques contenant des halogènes ou du soufre et la réduction des émissions de dioxyde de carbone issu de matières carbonées fossiles. En effet, l'incinération génère des émissions de gaz à effet de serre, elle participe à l'acidification atmosphérique et à la formation d'oxydants photochimiques et sont toxiques pour l'homme²³.

Les études effectuées par SAMVA indiquent les résultats suivants concernant le taux de recyclage et de valorisation des déchets dans la décharge d'Andralanitra.

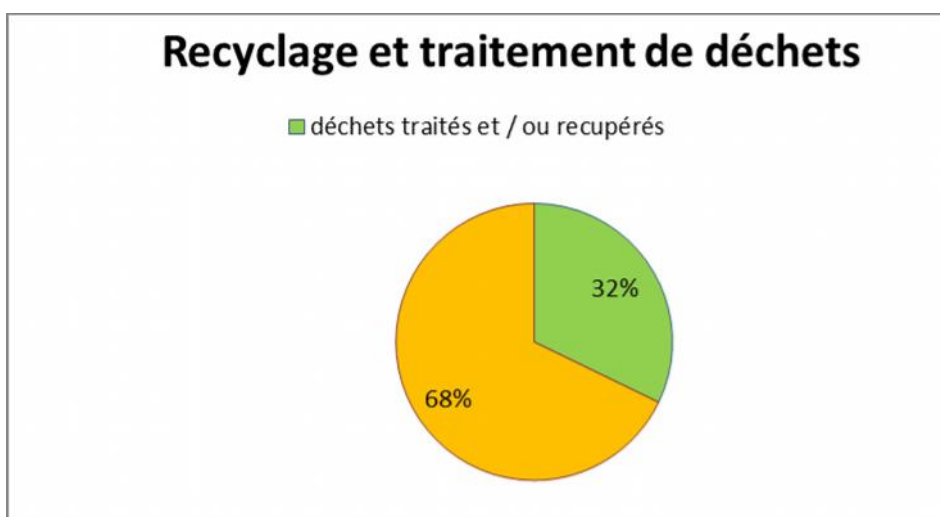


Figure 23. Taux de recyclage et traitement des déchets d'Andralanitra

Source : SAMVA

Seulement 32% des déchets d'Andralanitra sont recyclés ou valorisés. Ils restent alors la majeure partie (68%) des déchets qui sont ni traités ni valorisés.

Ainsi, les déchets plastiques non valorisés restent encore prépondérant d'après les tonnages donnés précédemment.

²² www.plasticseurope.fr (W17)

²³ www.ecoconso.be (W18)

Les analyses de recyclage et de la valorisation ont déduit que ces procédés sont des solutions promettant mais se heurtent également à des nombreux obstacles. D'où la nécessité de rechercher des sacs de substitutions biodégradables.

Les études précédentes nous renseignent sur les généralités des matières de fabrication des sacs : matières biodégradables et matières plastiques. Les méfaits des plastiques, les cadres réglementaires internationaux et nationaux interdisant les sachets en plastiques. Cette partie se termine sur les analyses des procédés de recyclage et de valorisation des sachets en plastiques. La seconde partie de notre mémoire se focalise sur notre investigation sur les sacs biodégradables et l'élaboration des fiches de cours et de travaux pratiques sur les polymères biodégradables.

**DEUXIEME PARTIE :
INVESTIGATION SUR LES
SACS BIODEGRADABLES
ET APPLICATION
PEDAGOGIQUE**

Comme les solutions abordées au niveau de procédés de recyclage et de valorisation demeurent imparfaites, il est envisageable de nos jours de faire des recherches sur les matériaux et procédés biodégradables à différentes échelles. Cette partie se concentre dans le premier chapitre sur nos recherches à l'échelle de laboratoire et dans le second chapitre sur les reconnaissances des procédés industriels dans la société GASYPLAST. Au dernier chapitre, nous avons étudié le champ d'application pédagogique qui consiste aux aptitudes de former les élèves dans la classe de première scientifique sur la connaissance des polymères naturels biodégradables.

Chapitre 1 : Essai de fabrication de films biodégradables à l'échelle de laboratoire

I.1. Matériels

Tous les matériels et produits utilisés dans la fabrication du film sont résumés ci-dessous.

Produits utilisés

Maïzena
fécules de manioc
farine de blé
farine de maïs
farine du riz
Eau distillée
glycérine
colorant alimentaire
cire d'abeille coupée en petits morceaux

Matériels utilisés :

Bécher
Pipette
Balance de précision
Plaque chauffante
Papier aluminium
Support en verre
Support en plastique
Pince en bois
Cuillère
chronomètre

I.1.1 Descriptions de quelques produits utilisés

La maïzena

La maïzena est un amidon de maïs en poudre sans gluten. Il s'agit du plus pur des amidons de maïs, extraite des meilleures variétés de cette céréale. Elle ne contient que de l'amidon et est donc 100% d'amidon sans gluten. La maïzena est une marque d'amidon de maïs déposée depuis 1891. Cette marque d'amidon est reconnue par sa propriété d'agent rhéo épaississant. Il rend visqueux et élastiques.

Elle contient de l'amylopectine facilement manipulable avec des pourcentages (28%) intéressants et présents sur les marchés malagasy.

La glycérine :

La glycérine a été découverte en 1783 par Scheele

Nomenclature	glycérol, propanetriol, propanetriol-1, 2,3.
Formule brute	$C_3H_8O_3$
Formule développée	$\begin{array}{ccccc} CH_2 & \text{---} & CH & \text{---} & CH_2 \\ & & & & \\ OH & & OH & & OH \end{array}$
Densité	1,261
Température d'ébullition	290°
Propriétés	liquide sirupeux dense, d'un gout sucré, miscible à l'eau en toutes proportions et très hygroscopique.
Préparations	<ul style="list-style-type: none">- à partir de graisse (dans les usines de stéarine et parfois dans les savonneries)-par fermentation de sucre en présence de sulfite de sodium.-Récemment, par voie synthétique, utilisant comme matière première le propylène de craquage du pétrole.
Utilisations	<ul style="list-style-type: none">-dans la fabrication des cosmétiques- en tannerie-dans l'industrie textile pour l'apprêt des tissus-dans l'industrie du tabac- préparation des antigels.-production de nitroglycérine (pour la majeure partie)-production des résines alkydes.

Tableau 11. Caractéristiques de la glycérine

Source : Allinger, N., 1987(B8)

La glycérine que nous avons utilisée est une glycérine liquide végétale donc d'origine naturelle, renouvelable.



Figure 24. Glycérine pure salama

Source : cliché de l'auteur

Utilisation de la glycérine dans la fabrication de film biodégradable :

La glycérine est utilisée comme plastifiant dans notre polymère, il leur confère douceur et élasticité, permette ainsi une meilleure résistance à la tension, une flexion et une transparence satisfaisantes. L'hygroscopicité du glycérol permet de préserver les objets qu'il imprègne de la dessiccation. Du point de vue théorique, l'ajout d'un plastifiant permet une augmentation du volume libre entre deux chaînes de polymères. La glycérine vient se mettre entre les molécules d'amidon pour faciliter leur mobilité les uns par rapport aux autres. Elle n'interagit pas chimiquement avec la matrice dans laquelle il est dispersé. Un film constitué ainsi est totalement biodégradable et non toxique.

Polymère + plastifiant \longrightarrow polymère plastifié

Les colorants

Les colorants peuvent être des pigments minéraux (dioxyde de titane) ou organiques (noir de carbone). Le colorant joue surtout le rôle dans l'amélioration des qualités visuelles.

Grâce à la présence de certains groupements fonctionnels (groupes hydroxyles) dans les amidons, les films amidonnés peuvent être colorés avec des colorants alimentaires solubles à l'eau, sans dépasser les valeurs limites. Ces colorants alimentaires ne rendent pas les films toxiques.

Dans notre expérience, on a choisi les colorants alimentaires qui sont vert, orange et rouge.



Figure 25. Colorants alimentaires

Source : Cliché de l'auteur

Les cires d'abeille

Les cires sont des mélanges d'esters d'acide gras supérieur et de mono alcools lourds. En outre, elles peuvent contenir des alcools et des acides lourds à l'état libre, ainsi que des hydrocarbures supérieurs.

La cire d'abeille se compose essentiellement de palmitate de myricile $C_{15}H_{31} COO C_{30} H_{61}$; en outre, elle renferme 10 à 14% d'acide cérotique $C_{25}H_{51} COOH$ et 12 à 17% d'hydrocarbures.

La cire d'abeille joue un rôle de lubrifiant et d'agents de démoulage dans notre film biodégradable. Elle améliore également la perméabilité à l'eau du film.

I.2. Méthodes :

Dans un premier temps, on a effectué des recherches bibliographiques et webographiques sur la fabrication des films biodégradables.

Ensuite, on a essayé de fabriquer notre film à partir des matières premières qui sont les suivantes : la maïzena, les féculs de manioc, la farine de blé, de manioc ou du riz. Ces matières premières ont été choisies en raison de leurs existences sur le marché local, et leur cout abordable.

Ces essais ont été effectués suivant le protocole ci-après :

- Mettre 100 ml d'eau dans le bécher ;
- Y ajouter 2 ml de glycérine et agiter à l'aide d'une spatule en bois ;

- Ajouter ensuite progressivement 5g de maïzena/ féculles de manioc/ farine de blé/farine de manioc/farine de riz tout en continuant de remuer ;
- Chauffer le mélange jusqu'à ce qu'il devienne translucide. Puis continuer de le chauffer à feu doux tout en le remuant pendant 10 mn ;
- Verser ensuite ce mélange (encore chaud et liquide) sur un support en verre ;
- Laisser sécher à température ambiante environ une semaine ;
- Une fois le film sec, le décollez avec la main en l'étirant très délicatement du verre.

En même temps, on a effectué des essais sur les techniques de moulage, on a essayé d'étaler le mélange préparé précédemment sur des supports en verre, en plastiques et en aluminium. On a pris des supports en verre et en plastiques de longueur 30cm et de largeur 20cm. Pour le support en aluminium, on a pris du papier aluminium fixé sur un support en verre de 30cm × 20cm.

Après, on a fait varier les multiples dosages au niveau des produits de fabrications. Pendant tous les essais, on a fixé l'eau à 100ml. En premier lieu, on a fait varier la quantité d'amidon dans le dosage ; Et deuxièmement, on a fait varier la quantité de glycérine. On a fait aussi varier la durée de cuisson de notre film.

Puis, pour améliorer les propriétés mécaniques, la facilité de manipulation et la qualité visuelle de notre film biodégradable. On a ajouté de la cire d'abeille et des colorants alimentaires vendus sur le marché local malagasy.

Enfin on a fait subir à notre film (avec ou sans cire d'abeille) des tests de biodégradabilité et des tests mécaniques.

Pour ce faire, on a pris des échantillons de 10cm × 10cm, on a découpé en six un film de 30 cm × 20cm.

En raison de la cherté des tests dans les laboratoires et vu qu'on envisage de faire une application de cette présente recherche dans l'enseignement de la chimie de 1^{ère} scientifique, on a effectué les tests suivant le mode opératoire suivant :

- Pour les tests mécaniques, on a fait des tests sur la perméabilité à l'eau, et à la résistance mécanique afin de les comparer à des films plastiques servant de sacs.

Le test de perméabilité à l'eau a été effectué suivant le schéma suivant :

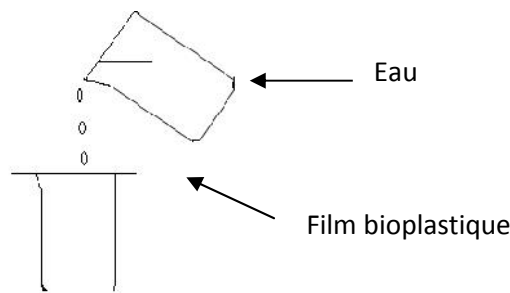


Figure 26. Test de perméabilité

Source : Auteur

La résistance mécanique a été testée suivant la facilité d'être déchiré à la main.

- Pour les tests de biodégradabilité, on a adopté le protocole suivant :
 - Placer un échantillon de film dans un verre d'eau chaude à 80°C de température et touiller. Si le film se disperse immédiatement et se dissout, cela veut dire qu'il peut être dégradé dans l'eau douce ou dans la mer.
 - Placer le fer à repasser branché sur un échantillon de film. Celui-ci ne fond pas. Ce test nous permet de conclure qu'il ne contient aucune matière plastique.
 - Mettre un échantillon de film à l'épreuve du feu. Contrairement au sac en plastique conventionnel, il ne doit pas fondre et ne doit pas dégager aucune odeur toxique. Similaire au papier, il doit se dissoudre en cendres.

En plus du protocole, on a fait un simple test, on a laissé dans un placard un échantillon de film, on l'a trempé dans l'eau, eau salée, exposé au soleil, laissé dans le milieu extérieur, sous terre.

I.3 Résultats et commentaire :

Des données webographiques et des essais sur ces multiples données dans le laboratoire de l'ENS nous ont permis d'avoir un protocole à partir duquel notre recherche est basée.

On a essayé de fabriquer notre film à partir de tous les produits locaux contenant de l'amidon, à titre d'exemple, les fécules de manioc, les farines de blé, les farines de riz. Vis-à-vis de ces expériences, le film fait à partir de la maïzena était le plus réussi, les autres films se désagrègent. Cela s'explique par le fait que la maïzena est composée de 100% d'amidon tandis que les autres produits ne sont pas purs. Telle la farine de blé, en plus d'amidon, elle est composée de gluten et d'autres produits. Ainsi, dans la suite de notre expérience, on a utilisé comme le poudre d'amidon : la maïzena.



Figure 27. Film loupé avec de la farine de maïs

Source : auteur



Figure 28. Film loupé avec de la farine de blé
Source : auteur

On a eu beaucoup de difficulté sur les techniques de moulages de notre film. Les films sont difficile à décoller sur les moules en verres et en plastiques.

Le tableau ci-après résume les résultats sur les techniques de moulage

Moules utilisés	Verre	Plastique	Papier aluminium
observations	<p>Le verre et le film sont tous les deux transparents. Il est difficile de les distinguer.</p> <p>Même si on arrive à les distinguer, le film est très difficile à décoller ce qui risque de les déchirer.</p>	Le film se déchire tout de suite en essayant de les décoller	Le film se décolle plus facilement, si ce n'est pas le cas, on peut déchirer momentanément le papier aluminium sans abimer notre film.

Tableau 12. Moules pour les sacs biodégradables

Source : auteur

La quantité de glycérine et de maïzena joue un rôle dans les propriétés des films, le tableau suivant résume les résultats obtenus si on varie la quantité de maïzena

Produits utilisés	eau	Glycérine	maïzena	remarques
Dosage 1	100ml	2ml	4g	Excès d'eau, difficile à sécher
Dosage 2	100ml	2ml	5g	Film flexible, assez résistant
Dosage 3	100ml	2ml	6g	Déformation lors de son séchage (rétrécissement) Film dur et résistant, mais plus cassant

Tableau 13. Variation de la quantité de maïzena et conséquences dans la fabrication d'un film biodégradable

Source : auteur

La quantité de glycérine est aussi un facteur déterminant des propriétés des films bioplastiques. Les conséquences de la variation de la quantité de glycérine sur notre film sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Produits utilisés	Eau	Glycérine	maïzena	remarques
Dosage 4	100ml	1ml	5g	Film dur et cassant.
Dosage 5	100ml	3ml	5g	Film très flexible, ne se déforme pratiquement pas au séchage mais beaucoup moins résistant

Tableau 14. Variation de la quantité de glycérine et conséquences dans la fabrication d'un film biodégradables.

Source : auteur

La durée de cuisson joue aussi un rôle dans la propriété des films ce que le tableau suivant résume :

	Durée totale de cuisson	observations
Essai 1	30min	Film très flexible
Essai 2	40min	Film cassant
Essai 3	50min	formation de petite bulle lors de chauffage donnant un film cassant et troué.

Tableau 15. Variation des conditionnements et conséquences dans la fabrication de film biodégradable.

Source : auteur

L'ajout de la cire d'abeille nous a permis d'avoir un film qui se démoule facilement, qui est plus résistant à l'eau. La cire d'abeille joue un rôle de lubrifiant et d'agents de démoulage.

L'ajout des colorants alimentaires participe surtout à l'amélioration de la qualité visuelle de notre film, mais il sert également à distinguer le film du moule.

Et enfin, on a effectué des tests mécaniques sur notre film, le tableau suivant nous montre les résultats des tests mécaniques :

Films biodégradables fait à partir de la maïzena	perméabilité à l'eau	Résistance au choc mécanique
Sans cire d'abeille	perméable	Déchirable à la main
Avec cire d'abeille	Imperméable jusqu'à 10min	Déchirable à la main

Tableau 16. Propriété mécanique du film

Source : auteur

Concernant les tests de biodégradabilité, les deux types de films (avec ou sans cire d'abeille) se dispersent immédiatement et se dissolvent dans un verre d'eau chaude à 80°C, ne se fondent pas lorsqu'ils sont placés au-dessous d'un fer à repasser branché, se dissolvent en cendre et ne dégagent aucune odeur toxique à l'épreuve du feu similaire au papier.

Les résultats des autres tests des deux types de films sont donnés dans le tableau ci-après

Laissé dans le placard	Trempé dans l'eau douce	Trempé dans l'eau salée	Exposés au soleil	Laissé dans le milieu extérieur	Laissé sous Terre
Aucune évolution	Ramollit totalement, au toucher et se décompose	Ramollit totalement, et décomposition plus accentuée	Diminution de masse	Diminution de masse Disparition totale en 48jours	Tache mauve champignon, des trous

Tableau 17. Test de biodégradabilité du film

Source : Auteur

Laissé dans le milieu extérieur, en milieu naturel, le film plastique a subi des modifications vis-à-vis des conditions environnementales (pluies, froid, gel,...), Après une décoloration et une fragmentation de notre bioplastique, ce dernier a entièrement disparu après 48 jours.

Le fait que les films se ramollissent dans l'eau douce et dans l'eau salée et la diminution de masse lorsqu'ils sont exposés au soleil ou dans le milieu extérieur nous prouve que ces films ne provoquent pas de pollution pour l'environnement, aussi bien sur terre que dans la mer.

La tache mauve, les champignons et les trous révèlent que ces films peuvent être bio fragmentés, et atteints essentiellement par les microorganismes, ce qui indique leur biodégradabilité.

I.4 Conclusion sur l'essai de fabrication:

En conclusion, le protocole optimal est le suivant :

- Mettre 100 ml d'eau dans le bécher;
- Y ajouter 2 ml de glycérine et agiter à l'aide d'une spatule en bois ;
- Ajouter ensuite progressivement 5g de Maïzena tout en continuant de remuer ;
- Ajouter maintenant le colorant alimentaire (optionnel) et 0,5g de cire d'abeille ;
- Chauffer le mélange jusqu'à ce qu'il devienne translucide. Puis continuer de le chauffer à feu doux tout en le remuant pendant 10 mn ;
- Verser ensuite ce mélange (encore chaud et liquide) sur un support de papier aluminium de préférence au milieu en le répartissant en fine couche sur sa surface pour que le mélange ne froisse pas le papier ;
- Laisser sécher à température ambiante environ une semaine ;
- Une fois le film sec, le décoller avec la main en l'étirant très délicatement du papier aluminium.



Figure 29. démarches expérimentales

Source : auteur

On a obtenu un film biodégradable très souple. Le film a des propriétés mécaniques assez médiocres qui présentent une perspective d'amélioration.

I.5 Analyse de la démarche expérimentale

La maïzena est choisie en raison de sa pureté. Elle est composée uniquement d'amylose et d'amylopectine.

L'hydrolyse catalysée par la chaleur (chauffage) a pour effet entre autre de casser les liaisons peptidiques de la chaîne d'amylopectine. Elle va conduire à une formation de deux éléments, l'amylose et la dextrine. La dextrine étant comme l'amylose, un polymère de glucose linéaire, ne diffère de l'amylose que par la longueur de la chaîne, celle-ci étant plus petite. Le milieu est alors composé uniquement de polymère linéaire (l'amylose et la dextrine).

Après que le gel commence à se former, on continue le chauffage durant certain temps, à ce moment on remarque que la viscosité du gel diminue. C'est la reformation des liens intermoléculaires entre les molécules d'amylose et de dextrine (aussi appelé rétrogradation), il s'agit donc de la création du nouveau plastique. C'est ici que l'ajout de glycérine entre en jeu celle-ci va servir de plastifiant, son but sera d'augmenter l'espace entre les chaînes de polymère. Elle va donc rendre le plastique plus flexible, moins cassant. Cela en favorisant le mouvement des chaînes par rapport aux autres.

Lors du refroidissement du gel obtenu, on observe que l'eau s'évapore petit à petit du plastique, celui-ci se déshydrate. C'est la synérèse.

En résumé, on a :

Cuisson \implies hydrolyse catalysée par la chaleur \implies liaisons peptidiques de la chaîne d'amylopectine cassée \implies reformation des liens intermoléculaires entre les molécules d'amylose et de dextrine (rétrogradation)

Glycérine \implies augmentation de l'espace entre les chaînes de polymère \implies mouvement des chaînes par rapport aux autres

Séchage \implies l'eau s'évapore petit à petit du plastique (synérèse)

Les matières premières utilisées lors de l'essai de fabrication de films biodégradables sont présentes au marché et facilement manipulables. Les films biodégradables ainsi conçus ont des mérites pour fabriquer des sacs biodégradables et présentent des perspectives d'amélioration. Le prochain chapitre décrit l'analyse de fabrication des sacs dans les chaînes industrielles.

Chapitre 2 : Analyse de fabrication des sacs dans les chaines industrielles

II.1 Présentation de la société

La société Gasy Plast est une Société à Responsabilité Limitée (S.a.r.l) créée en 2013, implantée à Ambohiboahangy Fokontany d'Andranonomby dans la Commune Rurale d'Ambohimalaza Miray, District d'Antananarivo Avarandrano, Région Analamanga. Elle se trouve à 17km d'Antananarivo suivant la RN2 et après une bifurcation de 3km. Elle a entamé la fabrication de ses sacs biodégradables en octobre 2015, Mais elle fabrique également, des tuyauteries (en PVC, en PE et en PPR) et des bouteilles en PET.



Figure 30. La société GASYPLAST

Source : Cliché de l'auteur

II.2 Matières premières :

La société utilise les polysaccharides comme matière première, plus précisément l'amidon de manioc.

Gasy Plast fabrique ces sacs à partir des granulés d'amidon de manioc d'origine d'Indonésie. Ces granulés ont été fabriqués industriellement, une fois le manioc extrait, on procède à la dépolymérisation et la transformation de la matière végétale (méthode 3). La société importe 20 Tonnes de ces granulés tous les quatre(04) mois. Elle achète ces granulés à 1000 dollars le kilogramme. Ce qui rend le cout des sacs un peu élevé par rapport aux sacs en plastiques.

Elle consomme 269 kg de granulés par jour, soit 5918Kg par mois et 71016Kg par an.

Gasy Plast n'utilise pas des matières locales du fait que ce n'est pas rentable car d'après le chef de production de la société, il faudrait une tonne de manioc pour avoir 100kg de granulés d'amidon de manioc.



Figure 31. Les granulés d'amidon de manioc provenant d'Indonésie

Source : Auteur

Les granulés se présentent sous deux couleurs : le blanc et le noir. Ce qui limite les productions des sacs en blanc et en noir.

II.3 Caractérisation du sac biodégradable de GASYPLAST :

Le « sacs biodégradables, compostables et inoffensifs faits à base de féculles de manioc » de Gasyplast est présenté sous plusieurs formats qui sont résumés dans le tableau ci-après.

Type de sac	Dimension largeur/longueur/épaisseur	Charge (kg)
SMALL SIZE	10/15/30	1,5
SMALL SIZE	16/32/30	1,5 à 2,5
MEDIUM SIZE	28/50/40	03 à 04
LARGE SIZE	33/50/50	05 à 06
EXTRA LARGE	40/60/50	07 à 09
BAGS SMALL	40/50/40	04 à 05
BAGS MEDIUM	60/80/50	06 à 07
BAGS LARGE	60/100/50	08 à 09

Tableau 18. Type et caractéristiques de sac biodégradable fait à base de fécule de manioc de Gasyplast

Source : Gasyplast (B13)



Figure 32. Sac biodégradable large size

Source : Cliché de l'auteur

La société peut produire jusqu'à 17kg de sacs par heure qui fait en moyenne 400pièces par heure.

Ces sacs sont distribués dans les grandes surfaces et les pharmacies d'Antananarivo et dans les autres villes. Ils sont distribués par Azaria à Tamatave.

II.4 Usinage

Le processus de fabrication des sacs biodégradables est résumé par la figure ci-dessous

Mode de fabrication de sac

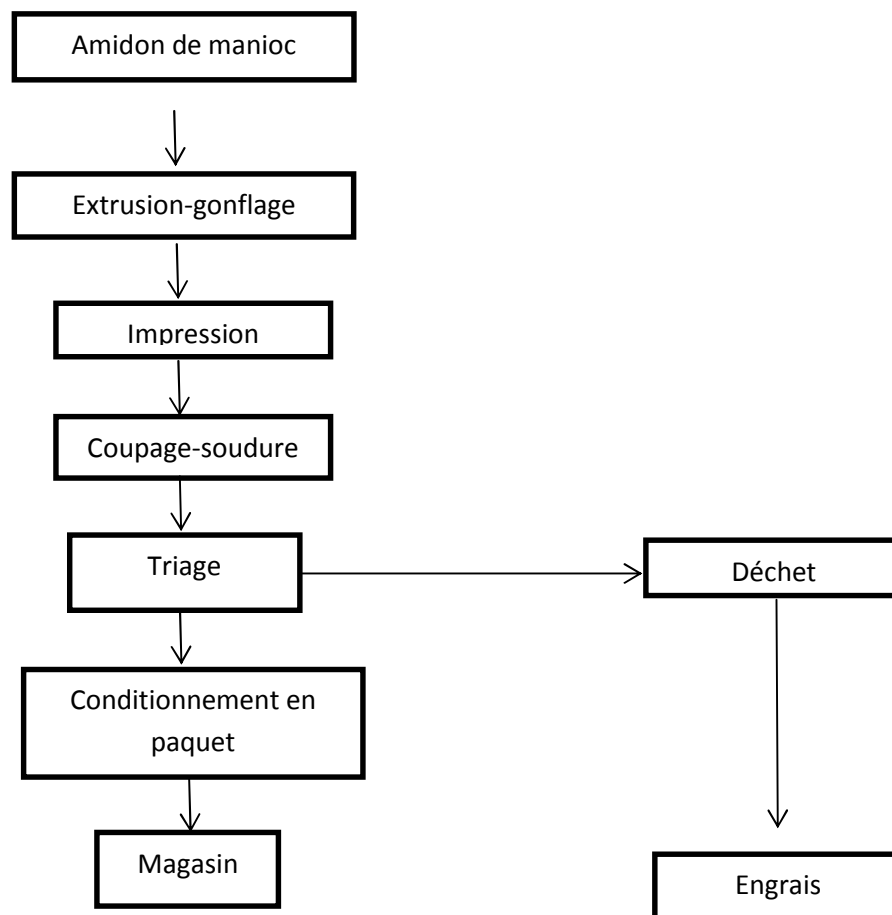


Figure 33. Mode de fabrication de sac

Source : Gasyplast

Le procédé de fabrication des sacs bioplastiques est similaire à celle des sachets plastiques. Ceci est un avantage puisqu'il permet la maintenance des mains d'œuvres dans l'usine.

La fabrication des sacs ne nécessite que 9KVA/h et 2 mains d'œuvres pour faire les paramétrages des machines. Elle trouve cependant des difficultés au niveau du prix des granulés et dans la commercialisation car les sacs ont un prix élevé et ont donc moins d'achat que les autres sacs.

II. 5 Test de biodégradabilité des sacs

La société a fait tester la biodégradabilité de ses sacs. Les tests ont été faits dans le laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) qui se trouve à Alarobia, Antananarivo. Pour ces tests, on a pris des échantillons d'un (01) paquet de 50 sacs faits à base de féculé de manioc.

II.5.1 Description des tests de biodégradabilité

La biodégradabilité d'un matériau ne peut être estimée par une seule méthode du fait de la complexité biologique impliquée dans le phénomène de biodégradation et le nombre de paramètres à prendre en compte.

Pour les polymères, les tests de biodégradabilité peuvent être effectués selon deux catégories suivantes :

- tests in vitro basés sur une mesure de la production de CO_2 et/ou de CH_4 , de la consommation d'oxygène ou des tests enzymatiques.
- tests in situ dans les sols et les composts. Dans les sols, les conditions sont souvent connues mais non maîtrisées. Dans les stations de compostage, les conditions peuvent être maîtrisées sommairement (température, aération, humidité, granulométrie ...)

Dans les tests in situ dans les sols et les composts, les échantillons sont enfouis selon un protocole précis. Après un temps d'exposition déterminé, les changements visuels et massiques (mesure de la perte de masse) sont notés pour chaque échantillon.

Quelques tests en laboratoires (test in vitro)

On distingue principalement deux méthodes : méthodes microbiologiques et méthodes enzymatiques.

Les méthodes microbiologiques sont des méthodes qui se basent sur le développement microbien pour déterminer la capacité des microorganismes (bactérie ou champignon) à dégrader un polymère particulier. Pour ce faire, la croissance de ces microorganismes est mise en évidence en utilisant le polymère comme source de carbone. Ce sont des méthodes qualitatives.

Les méthodes enzymatiques sont des méthodes qui permettent de donner des informations sur la susceptibilité du substrat à l'attaque enzymatique. Elle est basée sur l'utilisation directe d'enzymes pures ou d'un surnageant issue d'une culture microbienne ayant démontré la capacité de dégrader le polymère. Pour la méthode enzymatique, l'évaluation de la biodégradabilité se base sur le dosage des produits d'hydrolyse par chromatographie à haute performance (HPLC), chromatographie à phase gazeuse (CPG) ou l'identification de la structure des différents composés solubles par RMN.

Parmi les tests microbiologiques, la méthode d'envahissement et la méthode respirométrique sont les plus utilisés.

➤ Méthode d'envahissement

L'envahissement des polymères par les microorganismes permet de mettre en évidence la sensibilité des matériaux étudiés à l'attaque microbienne. Le film plastique est déposé à la surface d'un milieu gélosé après étalement de la suspension microbienne.

L'estimation de la biodégradabilité basée sur la méthode d'envahissement est fondée sur l'observation directe du matériau envahie par les microorganismes.

➤ Méthode respirométrique

Les mesures respirométriques permettent de quantifier, en condition aérobie, la dégradation du matériau plastique jusqu'à sa disparition complète du milieu, grâce à son assimilation par des microorganismes.

La mesure de la quantité de dioxyde de carbone produit pendant la respiration des microorganismes en utilisant le matériau comme seule source de carbone est la technique la plus utilisée pour les tests respirométriques. Le dioxyde de carbone issu de la biodégradation du polymère est utilisé pour le calcul de pourcentage de minéralisation. Lors de cette méthode, l'inoculum microbien utilisé produit naturellement du dioxyde de carbone pendant la respiration endogène, cette valeur doit être retranchée en utilisant un témoin sans polymère.

- Mesure de CO_2 par piégeage chimique

Le carbone est le principal constituant de la matière organique (40 à 60 %) et son évolution quantitative au cours du compostage est similaire à celle de la matière organique. Le carbone organique est dégradé par des microorganismes, leur fournissant ainsi une source d'énergie et une source de carbone pour la constitution des cellules microbiennes. Le dioxygène est consommé, comme accepteur d'électrons, tandis que le carbone est minéralisé sous forme de CO_2 .²⁴

La mesure de CO_2 par piégeage chimique est le moyen le plus simple de capter le CO_2 libéré pendant la minéralisation durant la biodégradation d'un polymère. Le CO_2 est piégé dans une solution alcaline de soude ou d'hydroxyde de baryum en large excès de concentration connue suivant les équations suivantes :



Le dosage acido-basique de la solution permet de quantifier la soude ou l'hydroxyde de baryum n'ayant pas réagi avec l'acide (ici, dans notre équation, l'hydroxyde de baryum). Par conséquent, la quantité totale de CO_2 dégagée déduite permet de calculer le pourcentage de minéralisation selon la formule :

$$\% \text{ Minéralisation} = \frac{(\text{CO}_2)_{\text{matériel}} - (\text{CO}_2)_{\text{blanc}}}{\text{Th}(\text{CO}_2)} \times 100 \quad ^{25} \quad \text{Où}$$

$(\text{CO}_2)_{\text{Matériel}}$ est la quantité de CO_2 mesuré dans le flacon contenant le matériau

$(\text{CO}_2)_{\text{Blanc}}$ est la quantité de CO_2 mesuré dans le flacon témoin sans le matériau

$\text{Th}(\text{CO}_2)$ est la quantité théorique de CO_2 produit par oxydation totale du matériau

Le $\text{Th}(\text{CO}_2)$ se trouve dans le dénominateur car c'est la valeur qu'on doit retrancher pour avoir le pourcentage de biodégradation, en effet, la totalité du carbone provenant du polymère n'est pas transformée en CO_2 , une partie sera utilisée à d'autres fins par la biomasse

²⁴ Denes, J., 2005 (B10)

²⁵ [liris.cnrs.fr\(W19\)](http://liris.cnrs.fr/W19)

(reproduction, stockage d'énergie, ..). Le rendement de transformation du carbone en CO₂ n'est donc pas de 100%. Dès lors, le CO₂ produit doit être ramené à la quantité de CO₂ total qui aurait pu être produit à partir de l'échantillon.

Le dosage par titration acide base colorimétrique se fait avec phénolphtaléine comme indicateur. La titration se fait tous les 2-3 jours. Le test dure en général 28 jours, qui nécessitent des suivis de COD ²⁶ après 3,7, 14 et 28 jours.

La biodégradabilité de la matière testée peut être interprétée suivant le pourcentage de minéralisation. Selon cette méthode, si on a une minéralisation au-dessus de 60 % donc la matière peut être classée de biodégradable.²⁷

- Essai de disparition de COD²⁸

Un volume mesuré de milieu minéral ensemencé, contenant une concentration connue de substance à tester (10 à 40 mg/L de COD) comme unique source nominale de carbone organique, est aéré dans l'obscurité ou sous lumière diffuse, à certaine température. La dégradation est suivie en analysant le COD à des intervalles de temps fréquents pendant une durée en générale de 28 jours. Le taux de biodégradation est calculé en exprimant la concentration de COD disparu (corrigée de la valeur obtenue dans l'essai témoin contenant l'inoculum) en pourcentage de la concentration initiale. La biodégradation primaire peut également être calculée à partir de l'analyse chimique de la substance d'essai réalisée au début et à la fin de l'incubation.

²⁶ COD : Carbone Organique Dissous. Il s'agit du carbone organique présent dans une solution ou qui traverse un filtre d'une porosité de 0,46 μ m ou encore qui reste dans le surnageant après une centrifugation de 15min à environ 4000g (40 000 m.s⁻²). (Goudron, R. ,2002) (B11)

²⁷ Novak, M.H. ,2005 (B12)

²⁸ http://www.analytice.com/fr_content:others/actu_print.php?id=74(W20)

Le tableau suivant montre les essais de disparition de COD ainsi que leur description.

Méthode	Diminution COD	Diminution COD	Diminution COD
Analytique			
Norme	301A ISO 7827	302 A ISO 9887	302B ISO 9888
Durée	28	Plusieurs mois	28
Contrôle	0/3/7/14	Tous les jours	3h intervalles réguliers
Biodégradable si	70%	70%	70%
Inoculum	Pseudomonas fluorescens	Boues activées	Boues activées
T (°C) d'essai	22	-	20-25
Agitation	OUI	Aération	OUI
Exposition	Obscurité	-	Obscurité

Tableau 19. Diminution de COD

Source : Novak, M.H. ,2005(B12)

Ce sont des tests de biodégradabilité facile, si les matériaux ne répondent pas à ces tests, ils ne sont forcément pas non biodégradables. Pour vérifier sa biodégradabilité, on doit procéder à des tests de biodégradabilité intrinsèques.

II.5.2 Résultats des tests faits sur les sacs de la société GASYPLAST

Des analyses microbiologiques et physiques sont faites sur ces sacs, les résultats des tests sont les suivantes :

1) Méthode microbiologique par envahissement (cette méthode est déjà décrite dans l'étude bibliographique)

ESSAIS	DUREE	RESULTAT ET OBSERVATION
Attaque par microbe	15jours	-Ramollissement totale ; -Dégradation du matériau ; -Disparition d'une partie considérable du sac.
Attaque par paramécie	15jours	-Ramollissement totale ; -Dégradation du matériau ; -Disparition d'une partie considérable du sac.

Tableau 20. Attaque par microbe du sac biodégradable

Source : Gasyplast

Cette méthode est basée sur l'observation directe (la désintégration des matériaux en fonction du temps).

Selon la norme EN 13432 : le seuil acceptable est d'au moins 90% au total, ou 90% de la dégradation maximale d'une substance de référence dans un délai maximum de 6 mois.

Ici on observe que dans seulement 15 jours, on a une disparition d'une partie considérable du sac.

2) Essai de disparition du COD (Carbone Organique Dissous)

ESSAIS	RESULTAT
%Minéralisation	32

Tableau 21. Essai de disparition de COD

Source : Gasyplast

Le résultat de l'essai est de 32%, les sacs ne sont donc pas facilement biodégradables mais le matériau dégage du CO₂. Cela veut dire que le matériau est minéralisé.

3) Analyses physiques

ESSAIS	DUREE	RESULTAT ET OBSERVATION
Agression dans l'eau à 80°C	Immédiat	-Dissout complètement ; -Dégradation du matériau.
Attaque au feu	Immédiat	Disparition totale du sac au contact avec le feu.
Agression à l'eau froide	15jours	Ramollissement totale.

Tableau 22. Analyses physiques faites sur les sacs et observations

Source : Gasyplast

Ces tests sont faits pour vérifier l'écotoxicité des sacs. Le film biodégradable de Gasyplast se ramollit et se dissout dans l'eau, ce qui ne provoque donc pas de pollution pour l'environnement, aussi bien sur terre que dans la mer.

Le sac biodégradable n'est en aucun cas toxique et ne cause aucun dommage aux êtres vivants et à leur environnement.

Ce qui vérifie la stipulation de la norme EN 13432 : elle ne doit pas être dangereuse pour l'environnement.

De plus, le sac de GASYPLAST ne contient pas de plastique même si son apparence et son processus de fabrication sont similaires à ceux du sac en plastique conventionnel.

Il peut être aussi recyclé avec les produits en papier, mais non avec le plastique.

Compte tenu de ces résultats, on peut en déduire que les produits de la société GASYPLAST sont conformes aux réglementations relatives à la biodégradabilité : EN 13 432.

COMPARAISON DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DU FILM BIODÉGRADABLE OBTENUS A L'ÉCHELLE LABORATOIRE AVEC LE FILM BIODÉGRADABLE DE LA SOCIÉTÉ GASYPLAST

Le tableau ci-après récapitule la comparaison de notre film biodégradable à celle du film de la société Gasyplast.

Caractéristiques	Film biodégradable à l'échelle de laboratoire	Film biodégradable industrielle de GASYPLAST
Matière première	Maïzena (produit présent sur le marché malagasy)	Granulés d'amidon de manioc (importés d'Indonésie)
Méthode de fabrication	Matériels simples de laboratoire Moins d'énergie	Matériels sophistiqués Plus d'énergie
Durée de dégradation dans la nature	48 jours	6 mois
Ecotoxicité	Non toxique	Non toxique
Propriété physique	Déchirable à la main Perméable à l'eau	Peut contenir de 1,5 Kg à 9 Kg selon leur dimension Perméable à l'eau

Tableau 23. Comparaison des films biodégradables industrielle et à l'échelle de laboratoire

Source : auteur

Le film biodégradable que nous avons conçus se dégrade plus rapidement que celle fabriqués industriellement. Cependant, il est moins praticable à cause de sa fragilité.

Chapitre 3 : Application pédagogique

Vu les impacts des plastiques sur l'environnement et sur la santé, ainsi que l'interdiction des sachets en plastiques récemment, les élèves se doivent de connaître des notions de biodégradabilité, des matériaux renouvelables et quelques polymères naturels biodégradables. L'élaboration de ces derniers dans le programme scolaire, 1ère scientifique constitue le troisième chapitre de notre travail. Selon ce programme, des exemples de polymères d'origine pétrolière ainsi que leurs réactions de polymérisation sont étudiées dans cette classe. On étudie les réactions de polymérisations à partir des monomères suivantes : l'éthylène, le propène, le tétrafluoro-éthylène. Il est envisageable d'insérer l'étude des exemples de polymères naturels comme les polysaccharides et la galalithe, et des travaux pratiques sur ces derniers. La notion de biodégradabilité peut être initiée en vue d'informer et de sensibiliser les élèves des problèmes environnementaux vis-à-vis des produits non biodégradables et les inciter à en réduire leur utilisation.

III.1 Elaboration de la fiche pédagogique de préparation de cours pour l'enseignant

Matière : chimie organique

Thème : LES POLYMERES NATURELS BIODEGRADABLES

Classe : première scientifique

Durée : 2h

Objectifs généraux :

L'élève doit être capable de :

- Connaître les méfaits des matériaux non biodégradables et les avantages de l'utilisation des produits biodégradables et renouvelables ;
- Développer sa curiosité scientifique sur la fabrication d'un film biodégradable.
- Concrétiser les connaissances théoriques dans les travaux pratiques.

Objectifs spécifiques :

A la fin de la séance, l'élève doit être capable d'(e) :

- Définir la notion de biodégradabilité ;
- Distinguer les matériaux plastiques et biodégradables ;

- Connaître les intérêts de l'utilisation des matériaux biodégradables ;
- Savoir les problèmes environnementaux vis-à-vis des matières plastiques ;
- Utiliser une argumentation rationnelle dans les débats de société sur un sujet tel que les emballages/déchets en plastiques.

Prérequis :

Monomères et polymères

Le polymère est une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères reliées par des liaisons covalentes.

Le monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère.

Timing	contenus	stratégie
10min	Mise en contexte	<p>Q : Citez-moi 5 objets en plastiques qui se trouvent dans notre salle de classe ?</p> <p>RA : règle des élèves (en PVC), stylos, compas, protège cahier, vêtements, souliers, bijoux de pacotille, pince à cheveux, cartables, bouteilles d'eau, téléphone dans la poche,...</p> <p>On voit aussi des sachets en plastiques, des bouteilles en plastiques qui se trimballent partout dans notre environnement.</p> <p>Dans notre quotidien, on utilise des matériaux qui sont fait principalement de polyéthylène, PVC,.... (brosse à dent,...) mais</p> <p>Q/R</p> <p>Q : D'où proviennent ces matériaux en plastiques ?</p>

		<p>RA : des ressources fossiles</p> <p>Q : A quelle vitesse se dégradent-ils?</p> <p>RA : Des centaines d'années, Pas de dégradation, ou très lente.</p>
10min	Test de prérequis	<p>C'est ce qui va nous introduire dans ce nouveau sous-chapitre.</p> <p>Le titre est les généralités sur les polymères naturels biodégradables</p> <p>Q/R</p> <p>Q : qu'est-ce qu'un polymère ?</p> <p>RA : Le polymère est une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères reliées par des liaisons covalentes.</p> <p>Q : avez-vous déjà entendu le mot « biodégradable » ? que veut dire ce mot ?</p> <p>RA : biodégradable veut dire qui peut être dégradé par des microorganismes.</p>
30min	<p>GENERALITES SUR LES POLYMERES NATURELS BIODEGRADABLE</p> <p>Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique.</p> <p>Les macromolécules naturelles sont les</p>	<p>Q/R</p> <p>Q : quels sont les polymères synthétiques que vous connaissez ?</p> <p>RA : le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le</p>

	<p>caoutchoucs, les polysaccharides, la galalithe, le glycogène, l'ADN, les protéines...</p> <p>Comme on a vu précédemment, les macromolécules synthétiques sont le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polychlorure de vinyle, ...</p> <p>Malgré les différents avantages des matériaux en plastique ; ces polymères présentent des dangers pour l'environnement et pour la santé.</p> <p>Les plastiques ont une durée de vie très longue d'environ 500ans, le Bisphénol A et les phtalates, qui sont des produits chimiques présents dans les plastiques, peuvent causer des maladies comme le cancer. La dégradation de la qualité de l'air suite à l'incinération non contrôlée des déchets plastiques est source d'émission de polluants organiques persistants notamment les dioxines et furannes qui sont cancérigènes et conduisent à une incapacité de se reproduire chez toutes les espèces animales étudiées (poisson, oiseau ou mammifère). Dans le cadre de l'élevage, les déchets plastiques entraînent la destruction de cheptel suite à l'ingestion du plastique par les animaux.</p> <p>I- <u>QUELQUES DEFINITIONS :</u></p> <p><u>Biodégradable :</u> se dit d'un matériau susceptible d'être dégradé par des organismes vivants, en particulier par des</p>	<p>polychlorure de vinyle, ...</p> <p>Q : D'après vous, quels peuvent être les méfaits de l'utilisation des plastiques ?</p> <p>RA : Les plastiques ont une durée de vie très longue d'environ 500ans,</p> <p>Des produits chimiques dans les plastiques peuvent entrainer des maladies comme les cancers</p> <p>...</p>
--	---	--

	<p>bactéries.</p> <p>NB : Les plastiques ne sont pas biodégradables</p> <p><u>Renouvelable</u> : se dit d'un matériau qui peut être renouvelé,</p> <p><u>Matières renouvelables</u> : les matières renouvelables sont des matières exploitables de telle manière que leurs réserves ne s'épuisent pas. Leur vitesse de formation doit donc être au moins aussi rapide que leur vitesse d'utilisation. Par exemple, le pétrole n'est pas une matière renouvelable puisque ses ressources sont consommées à une vitesse bien supérieure à celle de sa création naturelle.</p>	
1h	<p>II- <u>EXEMPLES DE POLYMERES NATURELS BIODEGRADABLE</u></p> <p><u>II-1- l'amidon</u> :</p> <p>L'amidon et la cellulose font partis des polysaccharides utiles à la vie quotidienne.</p> <p>L'amidon est un glucide de réserve utilisé par les végétaux pour stocker de l'énergie. On le trouve dans les organes de réserves des plantes : les graines (en particulier les céréales et les légumineuses), les racines, tubercules et rhizomes (pomme de terre, patate douce, manioc, etc.). Il a pour formule chimique $(C_6H_{10}O_5)_n$ et est composé de : l'amylose, molécule formée d'environ 600 molécules de glucose chaînées linéairement ; et de</p>	<p>Q/R</p> <p>Q : Où trouvons-t-on de l'amidon ?</p> <p>RA : dans le riz, les maniocs, les pommes de terre,...</p>

	<p>l'amylopectine, molécule ramifiée.</p> <p>Plusieurs sociétés qui se trouvent à Madagascar tels :Gasyplast,... utilisent de l'amidon pour en fabriquer des sacs biodégradables.</p> <p><u>La cellulose :</u></p> <p>La cellulose de formule chimique $(C_6H_{12}O_5)_x$ est le constituant essentiel des enveloppes des cellules végétales. Généralement, elle ne s'y trouve pas à l'état pur mais accompagnée de substances dites « incrustes ».La cellulose naturelle la plus pure est la fibre de coton qui renferme 85 à 90% de cellulose et 6 à 8% d'eau; les arbres à feuille beaucoup moins.</p> <p>La cellulose est utilisée pour produire des papiers tels la société PAPMAD</p> <p><u>II-3-la galalithe :</u></p> <p>La galalithe est un bio polymère obtenu à partir du lait.</p> <p>. L'étymologie du mot galalithe vient de gala « lait » et lithos « pierre ». Sa découverte revient au chimiste français Jean-Jacques Trillat. L'invention de Trillat passe inaperçu en France. Son brevet de fabrication est déposé en 1895 par deux allemands Spitteler et Krische. C'est à partir de 1918 que l'utilisation de la galalithe devient commerciale. La galalithe est utilisée pour fabriquer des</p>	<p>Q : Ça sert à quoi la cellulose ?</p> <p>RA : pour fabriquer du papier</p>
--	--	---

	<p>boutons, des bijoux, des stylos, des pions, des matériels électriques. Elle devient le remplaçant de la corne, de l'ivoire. Pourtant, l'apparition des matières plastiques va mettre un terme à son utilisation industrielle car sa fabrication est onéreuse.</p> <p>De façon générale, les protéines peuvent être considérées comme des polymères naturels, car constituées d'enchaînement d'acides aminés. (un litre de lait contient entre 20 et 30 grammes de caséine)</p> <p><u>Les avantages de l'utilisation des polymères naturels biodégradables :</u></p> <p>Ces polymères sont issus de ressources renouvelables tels que les pommes de terre, les maïs, les arbres,... (biomasse) contrairement aux plastiques issues de l'industrie pétrochimique qui utilise des pétroles, des ressources fossiles afin d'être crée</p> <p>Les bioplastiques offrent aussi des propriétés que n'ont pas les plastiques à base de pétrole ceux-ci se dégradent plus rapidement et en même temps peuvent servir de compost.</p> <p>Les bioplastiques peuvent aussi servir à économiser le pétrole qui est plus cher contrairement aux bio dont les prix ont tendance à diminuer.</p> <p><u>MESURES A PRENDRE</u></p> <p>On a la méthode des 4R</p>	<p>Q : D'après tout ce qu'on a vu dans la séance d'aujourd'hui, quels sont les avantages des bioplastiques ?</p> <p>RA : issus des ressources renouvelables , biodégradables, qui servent à économiser les pétroles.</p> <p>Q : Citez-moi des exemples de bioplastiques ?</p> <p>RA : les polysaccharides comme l'amidon, la cellulose ; la galalithe ;...</p>
--	---	--

	<p>Réduire-Ré-utiliser-Recycler-Refuser</p> <p>Réduire les achats et la production des choses en plastique.</p> <p>Réutiliser, c'est évidentes, les bouteilles en plastiques sont un bon exemple, Elles sont solides et peuvent être réutilisées plusieurs fois.</p> <p>Recycler</p> <p>Refuser, dire NON aux plastiques à usages uniques comme les sacs et bouteilles</p> <p><u>TEST FACILE POUR CONNAITRE UN PRODUIT BIODEGRADABLE²⁹</u></p> <p>Pour tester la biodégradabilité d'un produit, ci-après les consignes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placer un morceau de cette matière dans un verre d'eau chaude à 80°C de température et touiller. Il se disperse immédiatement et se dissout. - Placer le fer à repasser branché sur un morceau de cette matière. Celui-ci ne fond pas. - Mettre à l'épreuve du feu. Contrairement à la matière en plastique conventionnel, il ne fond pas et ne dégage aucune odeur toxique. Similaire au papier, il se dissout en cendres. 	
10min	Résumé	Q/R

Tableau 24. Fiche pédagogique pour l'enseignant

Source : Auteur

²⁹ GASYPLAST

III.2 Proposition de Travaux pratiques dans la classe de 1^{ère} scientifique

Fiche pédagogique de préparation de TP pour l'enseignant

Fiche n°1

Matière : chimie organique

Thème : FABRICATION DE FILM BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA MAIZENA

Classe : première scientifique

Durée : 1h

Objectifs spécifiques :

A la fin de la séance, l'élève doit être capable d'(e) :

- Réaliser un protocole comprenant des expériences ;
- Schématiser ;
- Observer ;
- Faire preuve d'autonomie ;
- Travailler en équipe ;
- Communiquer.

Prérequis :

Les polymères naturels biodégradables

Produits et matériels utilisés

Produits utilisés : (Pour film d'environ 30 x 20 cm)

- 5g de la Maïzena
- 100ml de l'eau
- 2ml de la glycérine (plastifiant)
- des colorants alimentaires

Matériels utilisés

- pipette
- compte-gouttes
- balance de précision
- un bécher
- une plaque chauffante
- un fouet ou une spatule en bois
- pince en bois

Mode opératoire :

- Mettre 100 ml d'eau dans le bécher ;

- Y ajouter 2 ml de glycérine et agiter à l'aide d'une cuillère en bois ;
- Ajouter ensuite progressivement 5g de Maïzena tout en continuant de remuer ;
- Ajouter maintenant le colorant alimentaire (optionnel) et 0,5g de cire d'abeille ;
- Chauffer le mélange jusqu'à ce qu'il devienne translucide. Puis continuer de le chauffer à feu doux tout en le remuant pendant 10 mn ;
- Verser ensuite ce mélange (encore chaud et liquide) sur un support de papier aluminium de préférence, au milieu en le répartissant en fine couche sur sa surface pour que le mélange ne froisse pas le papier ;
- Laisser sécher à température ambiante environ une semaine ;
- Une fois le film sec, le décoller avec la main en étirant très délicatement du papier aluminium.

Fiche n°2

Matière : chimie organique

Thème : FABRICATION DE PLASTIQUE A PARTIR DU LAIT (LA GALALITHE)

Classe : première scientifique

Durée : 1h

Objectifs spécifiques :

A la fin de la séance, l'élève doit être capable d'(e) :

- Réaliser un protocole comprenant des expériences ;
- Schématiser ;
- Observer ;
- Faire preuve d'autonomie ;
- Travailler en équipe ;
- Communiquer.

Prérequis :

Les polymères naturels biodégradables

Produits et matériels utilisés

Produits :

- Lait
- Vinaigre
- Soude

Matériels utilisés :

- Béchers

- Plaque chauffante
- Bout de vêtement pour servir de tamis
- Moule en silicone

Protocole :

- Chauffer le lait
- Ajouter le vinaigre blanc pour coaguler le lait
- Filtrer
- Récupérer la caséine
- Ajouter de la soude (pour polymériser), Il se colore en jaune en mélangeant
- Verser dans un moule en silicone pendant qu'il est encore chaud ou bien si on n'a pas de moule en silicone, on peut le confectionner à la main en portant un gan.
- On peut le démouler après quelques temps mais il ne sera pas totalement sec qu'après 1 ou 2 mois.

Conclusion générale :

Les sacs sont indispensables dans notre vie quotidienne. Leur principal rôle est surtout de contenir et de protéger les marchandises pour faciliter leur manutention, leur transport ou leur acheminement. Ces sacs sont faits de plastiques ou de matières biodégradables. Des études ont démontré que les plastiques, entre autre les sachets en plastiques ont un véritable coût pour l'environnement. De ce fait, des décrets ont été promulgués à travers le monde stipulant l'interdiction, la taxation de l'utilisation des sacs en plastiques, A Madagascar, le décret n°2014 – 1587 interdit la production, l'importation, la commercialisation et l'utilisation des sachets et des sacs en plastiques inférieure à 50µm sur le territoire national Malagasy à partir du janvier 2016. Cette interdiction a réduit la consommation des sachets en plastiques, a sensibilisé également les gens sur les problèmes environnementaux. Ces derniers ont recours maintenant à des sacs artisanaux, des sacs biodégradables, ou tout simplement des sacs plus épais qui sont autorisés en raison de leur aptitude à être recyclé. Malgré cette mesure, des manufacturiers continuent informellement de produire des sachets en plastiques hors normes vendus sur le marché.

D'autres mesures peuvent être prises comme le recyclage et la valorisation. Pourtant, le recyclage des sachets plastiques se heurte à des problèmes de tri et de nettoyage et la valorisation se confronte à la nécessité du retraitement des fumées. De plus, à Madagascar, il est difficile de sensibiliser les gens à faire des tris sur leurs déchets suivant les types de matières plastiques.

Le présent mémoire propose alors que les sacs biodégradables constituent une solution de substitution aux sacs en plastiques faisant l'objet de ce mémoire. Des essais de laboratoire ont permis d'en déduire un protocole optimal dans la fabrication d'un film biodégradable. Les films obtenus sont promettant mais leurs propriétés mécaniques sont assez médiocres. Ils sont perméables à l'eau, déchirables à la main et ne se démoulent pas facilement. L'ajout de la cire d'abeille a apporté une amélioration, car elle facilite le démoulage et diminue la perméabilité du film.

GASYPLAT propose un sac biodégradable qui a une propriété intéressante presque similaire à des sachets en plastiques. La société rencontre des difficultés dans les matières premières car elle importe ces matières premières d'Indonésie de la raison que les granulés ne peuvent pas être fabriqués à Madagascar. Ainsi, la fabrication de ces produits constitue une des

perspectives de la société. La participation de l'Etat réduirait aussi le prix des sacs biodégradables afin qu'ils soient abordables par tout le monde.

Pour terminer, afin d'attirer l'attention des élèves sur les matières biodégradables, une fiche pédagogiques a été proposé dans la classe de première scientifique et des travaux pratiques ont été donnés afin que les élèves puissent contribuer à la protection de l'environnement en fabricant leurs propres sacs biodégradables. Dans cette fiche pédagogique, on a donné des notions de biodégradabilité aux élèves et des inconvénients des plastiques y sont aussi présentés afin qu'ils puissent être sensibilisés vis-à-vis de la dégradation de l'environnement par les déchets plastiques. On a également proposé d'étudier dans le programme de la classe de première scientifique des polymères naturels biodégradables comme l'amidon, la cellulose et la galalithe ainsi que leur application respective.

On pourra faire des créations d'autres objets à partir de la biomasse autre que les sacs en vue de remplacer partiellement ou totalement les plastiques.

BIBLIOGRAPHIE

- B1) Bulletin APEPA. (2010).
- B2) Leconte, S. (2010). *Etat de l'art sur les bioplastiques*.
- B3) Pavlov, B. & Terentiev, A. (1977). *Chimie organique*.
- B4) Davidovic Stanojlovic, A. (2007). *Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles- Application à l'emballage alimentaire*.
- B5) HEC MONTREAL. (2011). *Cours 4-084-95 : Développement Durable, Politiques Environnementales et Gestion*.
- B6) Cercle Nationale du Recyclage. (1999). *Les emballages plastiques : de la fabrication à la valorisation*.
- B7) Chambre Syndicale des Emballages en Matières Plastiques. (janvier 2004). *Conception et fabrication des emballages en matières plastiques pour une valorisation optimisée*.
- B8) Allinger, N. L., Cava, M., P., Don C. De J., Johnson C., R., Norman A .L. & Calvin L.S. (1987). *Chimie organique*. (Volume 2).
- B9) Denes, J. (2005). *Modélisation couplée des phases de traitement par compostage et de recyclage agricole des matières organiques*.
- B10) Goudron, R. (2002). *Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables*.
- B11) Novak, M.H. (2005). *Lubrifiants risques environnementaux et pour la santé des utilisateurs*.
- B12) Heriarivony, S.C. (2009). *Contribution à la diminution de la pollution de l'environnement : récupération et valorisation de déchets plastiques*, Mémoire de
- B13) Gasyplast. (2016). *Etude d'impact environnemental complémentaire Extension d'Activités*.
- B14) Fontaine, G., Tomasino, A., Gilles, F. & Gilles A. (1987). *Chimie 1^{ère} SE*. Nathan.
- B15) Sarrade, S. (2011). *La chimie d'une planète durable*, Paris.
- B16) Desjeux, J.-C. & Duflos, J. (1964). *Les plastiques renforcés*, Paris.
- B17) OTEP-TECHNIQUE COLLEGES TECHNIQUES. (1974). *Les matières plastiques 4^{ème} année c.t.m.f. et carrosserie*.
- B18) Haim, G. (1957). *Soudure des plastiques*, (volume 2), Paris.
- B19) ONE. (2007). *Rapport sur l'état de l'environnement*, Madagascar.
- B20) ONE. (2009). *Rapport sur l'état de l'environnement*, Madagascar.

- B21) CSEMP. (2004). *Conception et fabrication des emballages en matière plastique pour une valorisation optimisée.*
- B22) Fodil, S. (2008). *Les biomatériaux.*
- B23) Lefaux, S. (2005). *Biodégradation des films polymères à usage agricole : caractérisation physico-chimique des résidus et identification biomoléculaire des bactéries actives.*
- B24) Goudron, R. (2002). *Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables.*
- B25) Jbilou, F., Degraeve, P., Sebti, I. (2010). *Synthèse sur les différentes méthodes d'évaluation de la biodégradabilité des polymères à base de ressources renouvelables.*
- B26) Lucas, N. (2007). *Etude et mise au point d'une nouvelle méthode d'évaluation de la bioassimilation : utilisation des isotopes stables du carbone pour le marquage de la biomasse microbienne.*
- B27) Saadi, Z. (2008). *Etude de la dégradation fongique des polymères : cinétique de dégradation des polymères et caractérisation des sous-produits de dégradation- Etude de l'écotoxicité de ces polymères.*

WEBOGRAPHIE

- W1) www.materiatech-carma.net Consulté le 30 novembre 2015
- W2) [labels-logos-picto.pdf](#) Consulté le 30 novembre 2015
- W3) <https://les.cahiers-developpement-durable> consulté le 27 avril 2016
- W4) contactgasyplast.com consulté le 27 avril 2016
- W5) <http://sfoi.mg> consulté le 22 juin 2016
- W6) www.eduma.mg consulté le 22 juin 2016
- W7) www.enduma.mg/non-woven-bags/ consulté le 22 juin 2016
- W8) <https://tel.archives-ouvertes.fr/THESE-andeastanojlovicdavidovic.pdf> consulté le 18 janvier 2016
- W9) plastiprof.fr Consulté le 30 juin 2016
- W10) [www.culturesciences.fr/les polymères naturels.pdf](http://www.culturesciences.fr/les-polymeres-naturels.pdf) consulté le 26 avril 2016
- W11) www.valbiom.be/l'amidonetlePLA.pdf consulté le 07 avril 2016
- W12) [wwwnotre-planete.info](http://www.notre-planete.info) consulté le 07 avril 2016
- W13) www.rodezagglo.fr consulté le 07 avril 2016
- W14) [http://sprinterlife.com/2012/01/ pacific-trash-vortex.html](http://sprinterlife.com/2012/01/pacific-trash-vortex.html) consulté le 07 avril 2016
- W15) www.plateforme-resources.org
- W16) www.commerce.gov.mg/Decret-DCE Consulté le 30 aout 2015
- W17) www.plasticseurope.fr consulté le 15 janvier 2016
- W18) www.ecoconso.be consulté le 30 janvier 2016
- W19) liris.cnrs.fr consulté le 30 janvier 2016
- W20) www.analytice.com Consulté le 30 novembre 2015
- W21) www.emse.fr/tice/uved/plastique.pdf consulté le 11 décembre 2015
- W22) www.ademe.fr/.../fiche-technique-ademe-sur-plastiques-biodegradables- consulté le 18 janvier 2016
- W23) www.bioplastiques.org/.../Note%20Club%20Bio-plastiques%20oct%202015aout%202015 Consulté le 15aout 2015
- W24) <http://www.environment.gov.au/settlements/publications/waste/plastic-ags/analysis.html> Consulté le 30 aout 2015
- W25) www.grenoble.fr Consulté le 30 aout 2015

- W26) <https://tel.archives-ouvertes.fr> Consulté le 20mai 2016
- W27) www.jeulin.fr Consulté le 20mai 2016
- W28) www.techniques-ingenieur.fr Consulté le 20mai 2016
- W29) biblio.univ-annaba.dz/ Consulté le 28mai 2016
- W30) www.economie.gouv.fr Consulté le 28mai 2016
- W31) www.developpement-durable.gouv.fr Consulté le 28mai 2016
- W32) www.okcompost.be Consulté le 28mai 2016
- W33) <https://www6.rennes.inra.fr> Consulté le 30 mai 2016
- W34) <http://www.bmgeng.ch> Consulté le 30 novembre 2015
- W35) www.oecd-ilibrary.org Consulté le 30 novembre 2015

GLOSSAIRE

Le compostage :

Le compostage est la mise en œuvre optimisée et contrôlée du processus naturel de biodégradation.

C'est la transformation de déchets organiques en compost, qui est obtenu dans des installations spécialisées qui garantissent une gestion correcte du processus.

Photo- dégradation

La photo- dégradation est la dégradation d'une matière sous l'effet du rayonnement ultraviolet (UV), de telle sorte que la matière s'affaiblit et se fragmente en minuscules particules.

Thermo-dégradation :

C'est la dégradation provoquée par la chaleur.

Oxo-dégradation :

C'est la dégradation par oxydation.

Hydro- solubilisation :

C'est la propriété d'une matière qui est soluble dans l'eau, généralement à l'intérieur d'un écart de température, et qui se biodégrade ensuite sous l'action des microorganismes.

ANNEXE 2 :

Termes de référence de stage

Contexte

La dégradation de l'environnement est l'un des problèmes majeurs de notre décennie (la diminution de la couche d'ozone, le réchauffement planétaire, les pluies acides, le changement climatique, la pollution des eaux, la pollution des sols,...). Parmi les causes qui accélèrent cette dégradation de notre environnement, on ne peut pas négliger les effets ou impacts causés par l'utilisation des sachets et des sacs en plastiques. Les plastiques ne se dégradent pas rapidement avec une durée de vie d'environ 500ans. A Madagascar, Ces plastiques bouchent les canaux d'évacuation des eaux usées, provoquant ainsi des inondations surtout en saison pluvieuse dans les bas quartiers.

Face à ce problème, outre la mise en décharge des déchets plastiques, leur récupération et recyclage. Les sacs biodégradables constituent une alternative intéressante et une solution de substitution aux sachets et sacs en plastiques.

En tant que futur enseignant, il nous semble être parmi nos responsabilités la conscientisation des élèves sur les méfaits de l'utilisation des sachets et des sacs en plastiques et il nous appartient de sensibiliser les élèves à utiliser des produits biodégradables. Telle est donc la nécessité de faire une visite d'usine dans les sociétés qui participent à la fabrication des sacs biodégradables.

Objectifs

Cette visite a pour objectif de recueillir des données sur les sacs biodégradables et leur impact sur l'environnement.

Activités

Pour ce faire, il est nécessaire de :

- Connaitre la société
- Connaitre les matières premières utilisées, l'usinage, la production et la commercialisation des sacs biodégradables.
- Evaluer les difficultés rencontrées
- Evaluer les impacts socio-économiques et environnementaux de diverses activités.

Résultats attendus

Avoir à la disposition des données relatives à la fabrication des sacs biodégradables

Questionnaire

- Présentation de la société

Nom de la société : sigle :

Localisation :

Date de fondation :

Date de première production :

Date de première production de sacs biodégradables :

Objectifs généraux :

- Matières premières utilisés pour les sacs biodégradables:

Caractéristiques :

Importées ☐ Locales ☐

Principe de collecte et de transport :

Quantités de matières premières utilisées : Importées : Locales :

- Usinage :

Etape de fabrication, machines utilisées et mécanismes réactionnels mis en jeu :

Etape de fabrication	machines utilisées	mécanismes réactionnels mis en jeu

Caractéristiques des machines utilisées

Machines utilisés	caractéristiques

--	--

Elément de sortie

Elément de sortie	Effets sur l'environnement

Remarques sur les rejets non traités

- Caractéristiques des sacs biodégradables

Format	Perméabilité à l'eau	perméabilité à l'O ₂	perméabilité au CO ₂	Etirement maximale	Poids maximal qu'il peut contenir	Résistance au choc mécanique	Volume de matière qu'il peut contenir	Durée de vie

- Production et commercialisation :

Type de sacs biodégradables (format ou autres caractéristiques)	prix	Production annuelle	Point de vente	Quantités consommées

- Difficultés rencontrées :

Au niveau des matières premières :

Au niveau de l'usinage :

Au niveau de la commercialisation :

- Impacts socio-économiques

Ouvriers de l'usine

Nombre d'ouvriers :

Nombre d'ouvriers locaux :

- Autres renseignements :

Type d'énergie utilisé :

Electricité de la JIRAMA ☐

Energie solaire ☐

Energie éolienne ☐

Autres énergies ☐

ANNEXE 3:

EVOLUTION DE LA QUANTITE COLLECTE DU 1998 AU 2014

ANNEES	QUANTITE OM COLLECTEES			
	VOLUME	TONNAGE	VOLUME/JOUR	TONNAGE / JOUR
1998	121 096,92	60 548,46	165,89	82,94
1999	196 003,18	98 001,59	268,50	134,25
2000	304 251,58	152 125,79	416,78	208,39
2001	249 460,62	124 730,31	341,73	170,86
2002	302 364,00	151 182,00	414,20	207,10
2003	395 665,00	197 832,50	542,01	271,00
2004	378 817,42	189		

		408,71	518,93	259,46
2005	335 420,32	167 710,16	1 459,48	229,74
2006	366 630,70	183 315,35	1 004,47	502,23
2007	352 538,00	176 269,00	1 965,86	482,93
2008	375 686,00	187 843,00	1 029,28	514,64
2009	426 684,25	216 948,00	1 169,00	584,50
2010	400 098,25	243 414,00	1 096,16	548,08
2011	356 006,74	178 003,37	1 975,36	487,68
2012	368 590,00	184 295,00	1 009,84	504,92
2013	356 549,00	178 274,50	1 976,85	488,42
2014	362 293,78	181 146,89	1 700,91	850,45
2015	22 018,00			
TOTAL	5 648 155,76	2 077,88	824	

Source : SAMVA

Auteur : NATOLOTRA Ho Sandratra

Adresse électronique : natolotrahosandratra@gmail.com

Contact : +261349261934

Titre : « CONTRIBUTION A LA REDUCTION DE LA POLLUTION EMISE PAR LES SACS EN PLASTIQUES. ESSAIS DE FABRICATION DE FILMS PLASTIQUES BIODEGRADABLES. APPLICATION DANS LES CLASSES SECONDAIRES. »

Résumé

Ce présent mémoire est axé sur l'étude des sacs en plastiques et des sacs biodégradables : les méfaits des sacs en plastiques sur l'environnement, des textes visant à les interdire, les difficultés rencontrées lors des recyclages et de la valorisation des déchets de ces sacs en plastiques, les sacs biodégradables de la Société GASYPLAST, l'avantage de l'utilisation des sacs biodégradables. Des essais de fabrication de film biodégradable ont été développés et des fiches pédagogiques pour les enseignants et des fiches de travaux pratiques sur les polymères biodégradables ont été proposés. On a choisi le thème puisque les professeurs de chimie doivent être conscients des enjeux environnementaux des utilisations courantes des matériaux non biodégradables et de les transmettre à la société par le biais de leurs étudiants.

Nombre de pages : 81

Nombre de tableaux : 24

Nombre de figures : 33

Mots clés : Biodégradables, Plastiques, Recyclage, Valorisation, Apprentissage au lycée

Directeur de mémoire : Dr RAJAOMANANA Hery