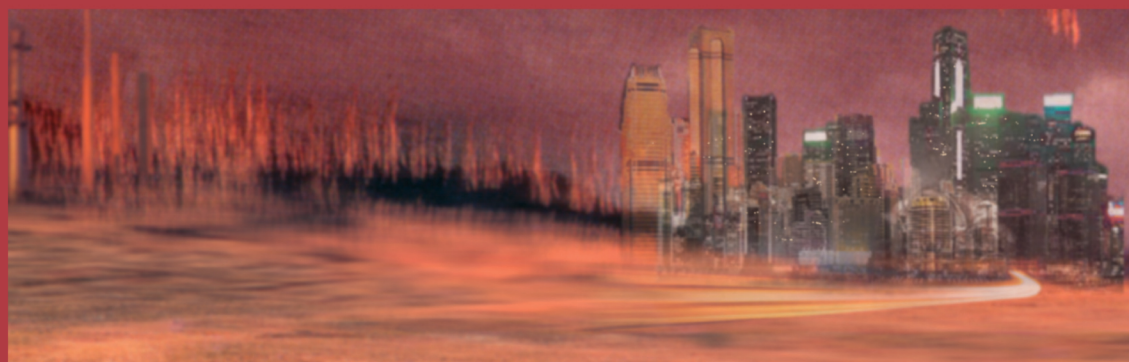


PADD II

DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESSOURCES RENOUVELABLES

H.N. RABETAFIKA, M. PAQUOT, L. JANSSENS, A. CASTIAUX, PH. DUBOIS



PARTIE 1

MODES DE PRODUCTION ET DE CONSOMMATION DURABLES



PROBLEMATIQUES
GENERALES



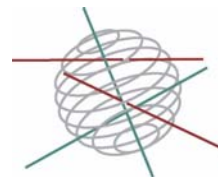
AGRO-ALIMENTAIRE



ENERGIE



TRANSPORT



Partie 1:
Modes de production et de consommation durables

RAPPORT FINAL



DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESSOURCES RENOUVELABLES

CP/45

H.N. Rabetafika, M. Paquot – FUSAGx
L. Janssens, A. Castiaux – FUNDP
H.N. Rabetafika, Ph. Dubois - UMH

Contrats de recherche n°
CP/16/451
CP/13/452
CP/14/453

Janvier 2006



POLITIQUE SCIENTIFIQUE FEDERALE



gembloux
faculté universitaire
des sciences agronomiques





D/2006/1191/4

Publié en 2006 par la Politique scientifique fédérale

Rue de la Science 8

B-1000 Bruxelles

Belgique

Tel: +32 (0)2 238 34 11 – Fax: +32 (0)2 230 59 12

<http://www.belspo.be>

Personne de contact:

Mme Marie-Carmen Bex

Secrétariat: +32 (0)2 238 37 61

La Politique scientifique fédérale ainsi que toute personne agissant en son nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent. Les auteurs sont responsables du contenu.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyens électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
RESULTATS	3
I. ANALYSE DES CONTEXTES ACTUELS	3
1.1. LE CONTEXTE INTERNATIONAL	3
1.1.1. <i>La naissance et l'évolution du développement durable</i>	3
A. Le sommet de Stockholm : l'éco-développement.....	3
B. Le rapport Brundtland : le développement durable.....	3
C. La déclaration de Rio : le Plan d'Action 21	3
D. Le protocole de Kyoto : la limitation des émissions de gaz à effet de serre.....	4
1.1.2. <i>Les normes internationales</i>	4
A. Les normes de management environnemental.....	4
B. Les normes de mesure de la biodégradabilité	4
C. L'auto-engagement unilatéral de l'industrie.....	5
1.1.3. <i>Les aides</i>	5
A. Les aides en matière de recherche et développement technologique.....	5
B. Les aides en matière d'environnement.....	6
C. Les aides des pays membres.....	6
1.1.4. <i>Les labels</i>	6
A. Les « labels » émis par l'Union Européenne	6
B. Les labels émis par les pays étrangers	7
1.2. LE CONTEXTE NATIONAL.....	8
1.2.1. <i>Les compétences en matière de développement durable en Belgique</i>	8
1.2.2. <i>La législation au niveau fédéral</i>	8
1.2.3. <i>La législation au niveau de la Région Wallonne</i>	9
1.2.4. <i>La législation au niveau de la Région Flamande</i>	9
1.2.5. <i>La labellisation en Belgique</i>	10
II. ETUDE DE CAS : LES TENSIOACTIFS ET LES POLYMERES	11
2.1. PRODUCTION ET EXTRACTION DES MATIÈRES PREMIÈRES D'ORIGINE VÉGÉTALE	12
2.1.1. <i>Généralité sur les matières premières végétales</i>	12
A. Les molécules intéressantes	13
B. Les avantages et inconvénients des matières premières renouvelables	15
2.1.2. <i>Le contexte actuel</i>	16
A. L'évolution du monde agricole.....	16
B. La PAC.....	16
B.1. La création et les objectifs de la PAC	16
B.2. Les réformes de la PAC	17
La réforme de 1992	17
La réforme de 1999	17
La réforme à mi-parcours 2000 - 2006	18
B.3. Les perspectives à moyen terme pour les marchés agricoles de l'Union Européenne	18
2.1.3. <i>Rencontre avec le secteur agricole</i>	19
A. La méthodologie	19
B. La production agricole à des fins non alimentaires en Belgique : la position des agriculteurs	20
B.1. Les données personnelles.....	20

B.2. Les agriculteurs maillon de la chaîne d’approvisionnement : revalorisation et revitalisation de la profession	20
B.3. Le manque d’information	21
B.4. Les freins	21
B.5. La question des OGM	22
2.1.4. <i>Les leviers aux problèmes et les pistes de recommandations</i>	22
2.2. PRODUCTIONS DES BIO-PRODUITS ET DES PRODUITS FINIS	23
2.2.1. <i>Modes de production des tensioactifs</i>	23
A. Généralités.....	23
B. Choix des tensioactifs	24
B.1. Modes de production	24
Mode de production de LAS	24
Production de sulfate éther d’alkyle (AES)	24
Production d’alcools gras éthoxylés (AE)	25
Les alkylpolyglycosides	25
Les alkylglucamides.....	25
B.2. Propriétés générales.....	27
B.3. Performances des tensioactifs dans les produits finis.....	27
Choix des produits finis.....	27
Formulation des liquides vaisselle à la main.....	28
Formulation des shampoings.....	28
La liste des ingrédients cosmétiques	28
Détermination des propriétés attendues.....	29
Performance des surfactants suivant les applications	29
B.4. Les freins actuels	29
B.5. Pistes de recommandations	30
2.2.2. <i>Modes de production des polymères</i>	31
A. Généralités.....	31
B. Choix des polymères.....	31
B.1. Modes de production	32
Mode de production des polylactides	32
Mode de production des polymères à base d’amidon	32
Mode de production de la polycaprolactone (CAPA de Solvay)	33
Mode de production du BIONOLLE	33
B.2. Propriétés générales.....	34
Propriétés du PLA	35
Propriétés des polymères à base d’amidon	35
Propriétés de la PCL	36
Propriétés du BIONOLLE	36
B.3. Performance des biopolymères dans les applications emballages films et sacs.....	38
Intérêts des biopolymères pour les applications emballages et sacs	39
2.2.3. <i>Rencontre avec le secteur industriel</i>	41
A. La méthodologie	41
B. L’aspect marché	41
B.1. Le cas des tensioactifs	41
B.2. Le cas des polymères.....	42
C. L’aspect mise en œuvre	43
C.1. Le cas des tensioactifs	43
C.2. Le cas des biopolymères	43
D. L’aspect utilisation	44
D.1. Le cas des tensioactifs.....	44

D.2. Le cas des polymères	44
E. L'aspect légal et la labellisation	44
F. L'aspect environnemental	45
G. Pistes de recommandations	46
2.3. UTILISATION DES PRODUITS FINIS PAR LES CONSOMMATEURS	47
2.3.1. <i>Méthodologie</i>	48
2.3.2. <i>Le degré de connaissance</i>	48
A. La définition des produits naturels	49
B. La connaissance des labels	50
C. La composition des polymères	51
2.3.3. <i>Tri des déchets</i>	51
2.3.4. <i>Les tensioactifs</i>	52
A. Les shampoings	52
B. Les détergents	55
2.3.5. <i>Les sacs plastiques</i>	57
2.3.6. <i>Pistes de recommandations</i>	59
2.4. FIN DE VIE DES BIO-PRODUITS ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	59
2.4.1. <i>Biodégradation des tensioactifs</i>	60
A. La biodégradation	60
B. L'écotoxicité	60
C. La bioaccumulation	60
2.4.2. <i>Campagne de dosage des tensioactifs dans les eaux</i>	63
2.4.3. <i>Gestion de déchets des polymères</i>	64
A. Le compostage	65
B. La valorisation énergétique	65
C. Le recyclage	66
D. Comparaison des modes de valorisation	66
2.4.4. <i>Analyse de cycle de vie des bio-produits (ACV)</i>	68
2.4.5. <i>Evaluation des surfaces nécessaires, gains en énergie fossile et réduction de Gaz à Effet de Serre (GES)</i>	70
SYNTHESE	75
RECOMMANDATIONS	81
CONCLUSIONS	89
VALORISATION ET COMMUNICATION DES RESULTATS	91
I. ELABORATION D'OUTILS EDUCATIONNELS (EN COLLABORATION AVEC ASBL VALBIOM) ..91	
II. ORGANISATION DE CONFÉRENCE (EN COLLABORATION AVEC ASBL VALBIOM)	91
III. PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	92
3.1. PUBLICATIONS	92
3.2. COMMUNICATIONS ORALES	92
3.3. COMMUNICATIONS SOUS FORME DE POSTERS	94
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95

Liste des abréviations

ABS:	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ACV :	Analyse de Cycle de Vie
AE:	Fatty Alcohol Ethoxylate
AE₃-CNO:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 3) from Coconut Oil
AE₃-Pc:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 3) from fossil
AE₃-PKO:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 3) from Palm Kernel Oil
AE₃S-Pc:	Alkyl Ether Sulphate (n EO = 3) from fossil
AE₃S-PKO:	Alkyl Ether Sulphate (n EO = 3) from Palm Kernel Oil
AE₇-CNO:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 7) from Coconut Oil
AE₇-Pc:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 7) from fossil
AE₇-PKO:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 7) from Palm Kernel Oil
AE₁₁-PO:	Alcohol Ethoxylate (n EO = 11) from Palm Oil
AES :	Alkyl Ether Sulphate
AG :	Alkylglucamides
APG :	Alkylpolyglycosides
APG -PKO:	Alkylpolyglycosides from Palm Kernel Oil
APG-CNO:	Alkylpolyglycosides from Coconut Oil
AS-CNO:	Alkyl Sulphate from Coconut Oil
AS-PKO:	Alkyl Sulphate from Palm Kernel Oil
AS-PO:	Alkyl Sulphate from Palm oil
BCF:	Bioconcentration Factor
CMC:	Concentration Micellaire Critique
CRIOC:	Centre de Recherche et d'Information des Organisations des Commerces
DOC:	Demande en Oxygène Dissout
EC50 :	Effective Concentration, 50%
GES:	Gaz à effet de Serre
HLB:	Hydrophile Lipophile Balance
HPLC:	High Performance Liquid Chromatography
INCI:	International Nomenclature Cosmetic Ingredient
INS :	Institut National de Statistique
LAS Pc:	Linear Alkyl Benzene Sulphonate from fossil
LAS :	Linear Alkyl Benzene Sulphonate
LC50 :	Lethal Concentration, 50%
LCA:	Life Cycle Assessment
LDPE :	Low Density Polyethylene
MBAS :	Methylene Blue Active Substances
NPE:	Nonylphenoethoxylate
OE:	Oxyde d'éthylène
OECD :	Organisation for Economic Co-operation and Development
PAC :	Politique Agricole Commune
PBS :	Polybutylène Succinate
PCL :	Polycaprolactone
PET:	Polyethylene Terephthalate
PGA :	Polyglycolides
PHA :	Polyhydroxyalcanoates
PHB :	Polyhydroxybutyrates
PHV :	Polyhydroxyvalérates
PLA :	Poly lactides
POC :	Polymerisation par Ouverture de Cycle
PP :	Polypropylène
PS:	Polystyrene
PVA:	Polyvinylalcohol
PVC :	Polyvinylchlorés
SDS :	Sodium Dodecyl Sulphate
SPE:	Solid Phase Extraction
TA :	Tensioactifs

INTRODUCTION

La hausse du prix du pétrole, l'épuisement progressif des ressources fossiles ainsi que les problèmes environnementaux sont différents facteurs qui ont mené à une prise de conscience généralisée de l'importance de la mise en place d'une stratégie globale de développement durable. Dans ce contexte, un défi à relever, aujourd'hui, est la recherche d'une alternative aux ressources fossiles épuisables et le développement de technologies et des produits plus respectueux de l'environnement. Les ressources renouvelables se présentent comme une voie intéressante par leur disponibilité et leur bilan environnemental global favorable. Dans cette perspective de substitution, plusieurs études ont été menées notamment dans le domaine des carburants et de l'énergie. Le projet « Développement Durable et Ressources Renouvelables » s'intéresse au remplacement de ces ressources fossiles dans le cadre de produits de consommation comme les tensioactifs et les polymères. Il est abordé par deux approches, technique et socio-économique, ce qui confère à cette étude un caractère pluridisciplinaire permettant d'envisager la problématique sous plusieurs angles.

Plusieurs objectifs ont été visés lors de cette étude. Le premier a été d'analyser les contextes actuels liés au développement des matières premières renouvelables. Il s'agissait aussi d'identifier les facteurs limitants au développement des produits à base de matières premières renouvelables en examinant leurs modes de production et de transformation. Pour ce faire, des recherches bibliographiques ont été réalisées.

Le second objectif a été d'évaluer les impacts environnementaux de la production et consommation/élimination des bio-produits en considérant d'une part la gestion des déchets et d'autre part la gestion des ressources naturelles par estimation des surfaces nécessaires pour la production de matières premières naturelles lors du remplacement des matières premières fossiles. Les gains environnementaux en terme d'économie en énergie fossile et de réduction des émissions de gaz à effet de serre ont été évalués. Auparavant, la notion d'Analyse de Cycle de Vie a été évaluée comme moyen d'appréciation des impacts environnementaux.

Le troisième objectif a été de cerner la situation actuelle de tous les acteurs concernés, de relever les freins et les opportunités que pourraient leur offrir le remplacement des matières premières fossiles par les matières premières renouvelables. Les rencontres organisées avec les différents secteurs ont permis une meilleure compréhension des interactions existant entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement et d'évaluer les impacts socio-économiques.

Ces analyses ont permis d'atteindre le dernier objectif qui a été de proposer des argumentations et des recommandations pour la mise en place d'une politique de développement durable. Les résultats de la recherche ont été valorisés par l'organisation d'une conférence et la participation à des colloques sur le thème de développement durable mais aussi en donnant des exposés aux étudiants et aux enseignants des universités et des écoles secondaires ainsi que par l'élaboration d'outils éducationnels en collaboration avec l'asbl Valbiom.

Des recherches au niveau laboratoire ont complété cette étude notamment en ce qui concerne la présence des tensioactifs dans les eaux de rivière et cours d'eau. Une campagne de mise en évidence des tensioactifs dans le réseau hydrographique wallon a été menée par mesure des tensions de surface des eaux prélevées et dosage de sulfonate d'alkyle benzène linéaire afin de vérifier si des tensioactifs s'y accumulent.

Les résultats sont présentés dans la suite de manière à considérer toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie. Auparavant une analyse des contextes actuels nationale et internationale est réalisée.

RESULTATS

I. ANALYSE DES CONTEXTES ACTUELS

1.1. Le contexte international

1.1.1. La naissance et l'évolution du développement durable

Un tracé historique de la notion de développement durable a été réalisé afin de montrer l'évolution du concept, les parties impliquées, les mesures mises en œuvre pour protéger l'environnement au sens large. Cette section présente les sommets et les rapports qui ont participé à l'élaboration du concept de développement durable.

A. Le sommet de Stockholm : l'éco-développement

En 1972, le sommet de Stockholm s'est principalement penché sur des problèmes écologiques (concernant principalement les pays riches) liés au développement industriel et à une rapide croissance de la consommation. L'accent était mis en priorité sur les ressources non renouvelables (les métaux, les combustibles fossiles) et sur les limites de la croissance imposées par le manque de ressources.

La conférence a aussi mis en avant le concept d'éco-développement, précurseur de la notion de développement durable, et le droit des peuples de vivre dans un environnement de qualité suffisante pour permettre une vie digne.

Elle a donné naissance au Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), au secrétariat permanent pour la protection de l'environnement, et au Programme Man & Biosphère de l'UNESCO. Elle a aussi produit une Déclaration de 26 principes, qui est le premier corps de lois du droit international de l'environnement, ainsi qu'un Plan d'Action de 109 recommandations. (Voir <http://www.solsoc.be/article216.html>)

B. Le rapport Brundtland : le développement durable

En 1983, le rapport Brundtland a donné la définition officielle du développement durable : «un développement qui pourvoit aux besoins de la génération actuelle sans mettre en péril les possibilités des générations suivantes de pourvoir elles aussi à leurs besoins». Il s'agit d'un rapport. Il n'a donc pas d'effet juridique obligatoire.

En Belgique, il a fallu attendre la loi de 1997 pour définir la notion. L'art. 2 de la **loi du 5 mai 1997** définit le développement durable comme « le développement axé sur la satisfaction des besoins actuels, sans compromettre celle des besoins des générations futures et dont la réalisation nécessite un processus de changements adaptant l'utilisation des ressources, l'affectation des investissements, le ciblage du développement technologique et les structures institutionnelles aux besoins tant actuels que futurs ».

C. La déclaration de Rio : le Plan d'Action 21

En 1992, la déclaration de Rio a publié un décret sur la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable où elle a énuméré les vingt-sept principes qui le caractérisent. C'est ce que l'on a appelé le Plan d'Action 21 ou Agenda 21. De plus, les pays se sont efforcés d'intégrer le développement social et économique. La déclaration de Rio a été signée par de nombreux états.

Elle n'a aucune valeur contraignante mais un côté symbolique fort. Elle a donc un aspect politique évident mais sans la force juridique.

Les signataires se doivent de lui assurer une bonne application et c'est ce qu'a fait la Belgique en 2000 avec son Plan Fédéral de Développement Durable.

Actuellement, les pays mettent en place divers Plans d'Action 21 au niveau local.

Il y a eu deux évaluations du sommet de Rio. La première s'est tenue à New York en 1997 (Rio+5) et le bilan était assez accablant. La seconde évaluation a eu lieu cinq ans plus tard (Rio+10) en 2002 à Johannesburg en Afrique du Sud. A nouveau, les conclusions n'étaient pas encourageantes.

D. Le protocole de Kyoto : la limitation des émissions de gaz à effet de serre

Le protocole de Kyoto, a eu pour objectif principal de définir les mesures à prendre, pour réduire à l'horizon 2010 les émissions mondiales de gaz à effet de serre.

En plus de vingt ans la notion de développement durable a fait du chemin. Cette problématique est devenue bien plus qu'un sujet à la mode. On observe une conscientisation des acteurs à tous les niveaux.

Ces sommets montrent que la conscientisation générale pour les problématiques environnementales grandit. Malheureusement, on observe actuellement très peu de mesures concrètes.

1.1.2. Les normes internationales

Plusieurs normes internationales ont vu le jour afin d'œuvrer pour l'environnement. Dans les domaines qui nous concernent, deux grands types de normes sont particulièrement intéressants : les normes de management environnemental et celles de mesure de la biodégradabilité.

A. Les normes de management environnemental

Les normes de management environnemental, dites normes ISO 14000 ont été édictées en 1996 par l'International Standard Organisation. De la même famille que l'ISO 9001 (qualité), ces normes proposent aux organisations un système de gestion de l'environnement pouvant être certifié. Elles sont déjà mises en œuvres par quelques 610 000 organismes dans 160 pays.

Elles traitent des processus, de la manière de travailler, et non des produits, du résultat du travail. Ces normes sont applicables à tout organisme qui souhaite mettre en œuvre, maintenir et améliorer un système de management environnemental; s'assurer de sa conformité avec la politique environnementale établie; démontrer à autrui sa conformité; rechercher la certification/l'enregistrement de son système de management environnemental auprès d'un organisme extérieur et réaliser une autoévaluation et une autodéclaration de conformité à la norme.

L'utilisation des ressources renouvelables montre des avantages environnementaux à tous les stades de la production. Les entreprises travaillant avec ces matières incorporent un processus qui pourrait être reconnu et déboucher sur l'acquisition de normes de management environnemental.

B. Les normes de mesure de la biodégradabilité

Une normalisation européenne précisant les critères de biodégradabilité des matériaux ainsi que les méthodes nécessaires pour déterminer cette biodégradabilité a vu le jour en 2000.

Parmi les normes intéressantes dans ce domaine, citons la norme EN 13432. Elle s'applique plus particulièrement aux matériaux d'emballage et spécifie les

exigences de biodégradabilité des emballages et les tests à mettre en œuvre pour évaluer leur transformation sous forme de compost.

Depuis 2000, date de ratification de cette norme, d'autres ont été adoptées. Ainsi les normes EN 14046, EN 14047 et EN 14048 qui déterminent la biodégradation des emballages en milieu aqueux. La norme EN 14045 qui évalue la désintégration des emballages en condition de compostage. La norme EN 13695-2 qui indique comment mesurer et vérifier la présence des quatre métaux lourds et autres substances dangereuses présentes dans les emballages ainsi que leurs effets sur l'environnement.

D'autres projets de normalisation concernant la biodégradabilité de matériaux d'emballages sont en cours d'élaboration. Il s'agit par exemple de la norme EN 14806 qui évalue la désintégration des emballages dans des conditions simulées de compostage en laboratoire.

A côté de ces normes internationales, plusieurs pays ont mis sur pied leurs propres normes de biodégradation: NFU 52 0001 en France, ASTM aux USA, DIN FNK 103.2 en Allemagne,...

C. L'auto-engagement unilatéral de l'industrie

En plus des normes existant au niveau européen, un nouveau type d'arrangement a vu le jour. Il s'agit d'un accord environnemental, sous la forme d'un engagement unilatéral de l'industrie. Un consortium d'entreprises produisant des polymères (aussi bien à base de matières premières fossiles que renouvelables) a décidé de s'unir volontairement afin de garantir le respect de plusieurs aspects environnementaux comme par exemple la norme EN 13432. Aucune mesure législative n'est prévue actuellement par la Commission dans ce domaine. Il s'agit donc bien d'une mesure volontaire et anticipatoire de la part de l'industrie. L'engagement est supervisé par l'association internationale des polymères biodégradables (International Biodegradable Polymers Association & Working Groups, IBAW). Ce type d'engagement montre une volonté du monde industriel à investir dans ces matières et leur développement.

D'autres associations comme l'ERRMA (European Renewable Raw Material Association) prennent position sur les problématiques liées à l'utilisation des ressources renouvelables. Cette association regroupe 5 agences nationales de Belgique, France, Allemagne, Pays-Bas et Grande-Bretagne. Le but de ce groupement est de promouvoir au niveau européen la valorisation des molécules et des matériaux à base de matières renouvelables utilisés dans les secteurs de la chimie.

1.1.3. Les aides

L'Union européenne a décidé d'appuyer les volontés de l'Europe par des compléments financiers. Elle a ainsi mis en place des programmes d'aide. Il s'agit notamment d'aides en matière de recherche et développement technologique et d'aides en matière d'environnement.

A. Les aides en matière de recherche et développement technologique

Ce programme (JOCE 2002 L232) regroupe toutes les activités de recherche soutenues financièrement par l'Union européenne. La plupart de ces activités sont menées en collaboration par des entreprises, des universités et des centres de recherche de différents pays de l'UE, les organismes participant prenant à leur charge une bonne part des dépenses. Le reste du programme se déroule au Centre commun de recherche (CRR), le laboratoire de la Commission européenne, qui a

des établissements dans plusieurs pays de l'Union Européenne. Sept domaines prioritaires ont été sélectionnés : génomique et biotechnologie pour la santé, technologies de la société de l'information, nanotechnologies, matériaux intelligents, nouveaux procédés de production, aéronautique et espace, sûreté alimentaire et risques pour la santé, développement durable et changement planétaire, citoyen et gouvernance dans la société européenne de la connaissance. Une partie du budget est spécifiquement proposée pour la recherche devant contribuer, par l'anticipation des besoins scientifiques et technologiques de l'Union, à améliorer les politiques publiques au niveau européen.

Ce type de programme pourrait être élargi aux biomatériaux et ainsi fournir un financement à ce secteur en plein développement.

B. Les aides en matière d'environnement

Le programme LIFE (Règlement 1655/2000 du 17-7-2000 : JOCE 2000 L 192) est le principal instrument financier de la politique communautaire de l'environnement. Il finance des actions novatrices démontrant qu'il est possible de développer des territoires ou des industries tout en respectant l'environnement. Ce programme s'articule en trois volets. Le volet Life-Nature promouvant les projets de conservation de la nature (oiseaux sauvages, habitats naturels, faune et flore sauvages), le projet Life-Environnement concernant le développement des techniques et des méthodes novatrices en matière d'environnement et le volet Life-Pays tiers contribuant à la création de capacités et de structures administratives dans le domaine de l'environnement, ainsi qu'au développement de politiques et de programmes environnementaux dans les pays riverains de la Méditerranée et de la Baltique, autres que les pays d'Europe centrale et orientale ayant conclu un accord d'association et candidats à l'adhésion.

C. Les aides des pays membres

A côté de ces aides européennes, les pays membres mettent en place leurs propres programmes. L'Europe veille à ce que ceux-ci respectent ses prescriptions. En effet, l'Union sanctionne les pays qui accordent des aides qui faussent la concurrence mais elle assortit ce principe de multiples dérogations. Ainsi, la Commission peut autoriser les aides d'états qui favorisent le développement économique de régions dans lesquelles le niveau de vie est anormalement bas ou dans lesquelles sévit un grave sous-emploi ; celles qui promeuvent la réalisation d'un projet important d'intérêt européen commun ou permettent de remédier à une perturbation grave de l'économie d'un Etat membre ; et enfin, celles qui facilitent le développement de certaines activités ou de certaines régions économiques.

1.1.4. Les labels

Actuellement, quelques produits sont porteurs d'un label. Les labels pourraient être une manière de sensibiliser les consommateurs. En effet, une demande de la part de ces derniers semble être le déclencheur que certaines compagnies attendent avant de se lancer dans l'utilisation de matières premières renouvelables.

Cependant, les labels et leurs critères d'attribution sont souvent méconnus.

Voici un aperçu des labels actuellement disponibles et qui touchent à la problématique au sens large du projet. Pour l'instant la nécessité d'utiliser des ressources renouvelables pour obtenir un label est quasi inexistante.

A. Les « labels » émis par l'Union Européenne

Au niveau européen, deux « labels » sont remarquables. L'éco-label européen et le certificat EMAS.

L'écolabel européen

Depuis 1992, l'écolabel (ou label écologique européen) est attribué aux produits et services qui respectent certains critères écologiques. Il est accordé lorsqu'une série de critères établis sur base d'une évaluation écologique (écobilan) sont atteints et certifiés par des groupes d'experts nationaux. L'écobilan consiste en une analyse multicritère appliquée à tout le cycle de vie du produit. Pratiquement, de nombreux paramètres sont pris en compte : émissions polluantes dans l'air, rejet dans les eaux, consommation matières et d'énergie, production de déchets, bruit, dégradation du sol, effets sur les écosystèmes,... Chacun de ces paramètres est examiné aux différentes étapes de la vie du produit : extraction des matières premières, obtention des matériaux et des substances chimiques, fabrications et conditionnement, transport, utilisation, élimination y compris les possibilités de réutilisations ou de recyclage,...

Ces critères sont appliqués uniformément dans toute la Communauté.

Actuellement, plus de 500 produits ont reçu le label écologique européen et plus de 130 producteurs sont impliqués. Mais, en Belgique, seuls une douzaine de produits écolabellisés se trouvent sur le marché, importés pour la plupart.

Actuellement, seule la catégorie « lubrifiant » inclut l'utilisation de ressources renouvelables.

Le certificat européen EMAS (Environmental Management and Audit Scheme)

A côté de label écologique européen il existe un règlement européen fournissant des lignes de conduite à toute organisation désirant gérer l'environnement de manière volontaire. Il s'agit du certificat EMAS, également appelé Eco-Audit. Ce dernier élargit le champ d'application de la norme ISO 14001. Il axe ainsi ses exigences sur l'amélioration des performances environnementales de l'entreprise, et non de la structure de gestion de l'environnement, comme c'est le cas de l'ISO. L'enregistrement EMAS est obligatoire en Région Wallonne pour les entreprises qui sont actives dans l'épuration des eaux urbaines, l'incinération ou l'enfouissement des déchets.

L'élargissement des critères d'obtention de cette certification permettrait une intégration plus rapide, voire obligatoire des ressources renouvelables dans diverses applications en Région Wallonne.

B. Les labels émis par les pays étrangers

A côté de ces mesures européennes, d'autres labels venus de l'étranger sont aussi visibles sur les produits.

En France

En France, on trouve notamment le label Ecocert, celui de « Nature et Progrès », la Charte Cosmébio et le NF Environnement.

Le label Ecocert, du nom de la société de contrôle et de certification agréée par les pouvoirs publics français, intervient depuis 15 ans afin de garantir le respect des normes spécifiques à l'agriculture biologique ; il faut cependant remarquer que des produits contenant un mélange de matières d'origines végétales et pétrochimiques peuvent être labellisés si les normes spécifiques à l'agriculture biologique sont respectées.

Le label « Nature et progrès » assure que le produit l'arborant contient au moins 95 % d'ingrédients issus de l'agriculture biologique. La Charte Cosmébio est un label qui désigne des produits cosmétiques écologiques et biologiques dont les ingrédients sont issus du monde végétal (parfois minéral) et prioritairement issus de l'agriculture biologique contrôlée.

Le NF environnement (délivré par AFNOR certification) certifie que le produit répond à des critères environnementaux, basés sur une analyse du cycle de vie du produit.

En Allemagne

En Allemagne, il y a le label de compostabilité de l'IBAW. Les produits l'arborant remplissent les critères de la norme EN 13432. Le label DIN CERTO assure que le produit est biodégradable mais également compostable sans formation de composés toxiques.

Le label Blauer engel (ange bleu) est attribué aux produits des entreprises qui font preuve de créativité et d'innovation dans la protection de l'environnement.

Aux Pays-Bas

Aux Pays-Bas, le « Milieukeur label » certifie que le produit répond à des critères environnementaux basés sur une analyse du cycle de vie du produit.

Dans les pays nordiques

Dans les pays nordiques on trouve le « Nordic Environment » qui certifie que le produit répond à des critères environnementaux, basés sur une analyse du cycle de vie du produit (procédés, matières premières,...). En Finlande, il existe aussi le Jätelaitosyhdistys.

Dans d'autres pays

On peut également citer le label Biodegradable Plastics Society au Japon (norme de référence GreenPla certification program), le Composting Council aux USA (norme de référence ASTM 6400)...

1.2. Le contexte national

1.2.1. Les compétences en matière de développement durable en Belgique

En Belgique, en matière d'environnement, les compétences gouvernementales fédérales sont assez limitées. Un transfert de ces dernières vers les Communautés et Régions est observé. En effet, tout ce qui concerne l'environnement et la politique de l'eau est attribué aux Régions. L'autorité fédérale reste compétente pour l'établissement des normes de produits, la protection contre les radiations ionisantes, et ce compris les déchets radioactifs, et le transit des déchets.

1.2.2. La législation au niveau fédéral

Le gouvernement a édité deux textes en matière de développement durable. Tout d'abord, la loi du 5 mai 1997 relative à la coordination de la politique fédérale du développement durable définit notamment la notion. Elle a créé un cadre pour le lancement des plans de développement durable et un ensemble de structures de coordination entre les différents départements fédéraux. Une politique globale de développement durable a été mise œuvre. La loi a prescrit une concertation permanente entre les différents ministères et organismes publics via la Commission Interdépartementales du Développement Durable.

Ensuite, la loi du 21 décembre 1998 relative aux normes de produits a pour but la promotion de modes de production et de consommation durables et la protection de l'environnement et de la santé. Le domaine d'application de cette loi pourrait être étendu afin d'intégrer l'utilisation de matières premières renouvelables.

Dans une moindre mesure, la Constitution dans son article 134 prévoit « le droit à la protection d'un environnement sain ».

1.2.3. La législation au niveau de la Région Wallonne

Les compétences en matière de développement durable sont, pour la plupart, accordées aux Régions, la législation est donc un peu plus fournie au niveau régional qu'au niveau fédéral.

La Région est notamment responsable de la planification en matière d'environnement comme le décret du 24 avril 1994 complété par celui du 22 janvier 1998 le spécifie.

Le décret d'avril 1994 prévoit, comme la déclaration de Rio l'avait énoncé, une participation du citoyen à la gestion de l'environnement.

L'accès à l'information relative à l'environnement est essentiellement régi en Région Wallonne, par le décret du 13 juin 1991 et ses arrêtés d'application. Il se consacre au même aspect que la directive européenne du 7 juin 1990 concernant la liberté d'accès à l'information en matière d'environnement qui exige que soit garantie dans les Etats membres l'accessibilité à l'information environnementale pour chaque citoyen qui en fait la demande. Ce décret est aussi dans la lignée de la Convention l'Aarhus (Danemark) qui affine et développe les concepts de base nécessaires à une démocratie participative. Ces mesures positives pourraient englober la disponibilité de l'information en matière de ressources renouvelables. Actuellement les applications dans ce domaine sont méconnues de la plupart des acteurs.

L'un des principaux problèmes soulevé par l'utilisation de matières premières renouvelables est le coût. En effet, l'intégration de ces matières dans le processus de production augmente le prix du produit fini. Le surcoût semble vite important pour des biens de consommation courante et la situation économique actuelle n'est pas favorable à un changement de comportement.

La Région pourrait être à l'initiative d'interventions ouvrant un horizon de solutions. Diverses aides de la Région pourraient être envisagées. Actuellement, grâce au **décret du 25 juin 1992** qui a modifié deux lois traitant des aides d'état, celle du 30 décembre 1970 et celle du 4 août 1978, des aides sont notamment offertes aux utilisateurs d'énergies renouvelables et aux entreprises qui réalisent un programme d'investissement en Région Wallonne visant la construction d'installations destinées à réduire les pollutions ou nuisances, la reconversion d'installation de production en service vers des processus de production moins polluants, le recyclage (récupération de résidus et déchets, l'assainissement de sites polluants), l'accomplissement d'efforts en recherche et développement pour la mise au point de produits ou techniques de production moins polluants ainsi que pour le passage des résultats obtenus au stade de l'exploitation industrielle pour autant que ces investissements ne bénéficient d'aucune autre aide régionale. Une expansion de ces aides à l'utilisation de matières premières renouvelables en remplacement de leurs équivalents fossiles serait envisageable.

1.2.4. La législation au niveau de la Région Flamande

La Région Flamande propose aussi des aides sous différentes formes. Ainsi les aides de la loi du 4 août 1978 offertes en Wallonie le sont aussi en Flandre.

La Région Flamande a également pris une décision le **14 février 2003** qui propose aux entreprises des « chèques-conseil ». Grâce à ces derniers, les industries peuvent bénéficier de conseils en matière d'énergie et d'environnement. La Région prend en charge 50% des coûts, les 50 autres étant laissés à la charge de l'entreprise.

Le **décret du 23 janvier 1991** modifié par celui du **18 mai 1999** a créé le « IWT-Vlaanderen » (Instituut voor de aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en

Technologie in Vlaanderen) dont le rôle est de stimuler et de supporter les innovations technologiques. Des supports financiers sont ainsi offerts aux entreprises qui travaillent sur des prototypes ou des activités permettant d'améliorer les processus ou les produits ayant un rapport avec l'énergie, l'utilisation des ressources, le recyclage,...

De plus, suite à l'intérêt croissant du monde industriel pour l'écodesign, le Gouvernement Flamand a décidé de mettre sur pied un organisme indépendant de support et d'information pour cette matière, **le factor 10**. Il est financé par les autorités flammandes via Ovam (société publique des déchets et de l'assainissement de sol en Flandres). Cet organisme pourrait être un moyen d'information et de promotion des ressources renouvelables.

1.2.5. La labellisation en Belgique

La Belgique possède également ses labels.

Le label OK compost est apposé sur des produits qui peuvent être compostés dans des installations industrielles. Il garantit la complète désintégration, la complète biodégradation et l'absence d'influence négative sur la qualité du compost. Il certifie également que l'emballage correspond à la norme EN 13432, c'est-à-dire, qu'il remplit les critères de compostage et de biodégradation.

Ce label est attribué et contrôlé par l'AIB Vinçotte.

L'AIB Vinçotte attribue aussi deux autres labels, le label OK biodégradation-sol et le label « sacs bioplastiques pour collectes de déchets biodégradables ».

Un autre logo souvent présent sur les produits est le point vert. Ce dernier est souvent confondu avec un écolabel mais il n'en est pas un. Il atteste que la firme qui met un produit sur le marché contribue au financement d'un système de collecte sélective et de tri des déchets d'emballage en vue de leur valorisation.

II. ETUDE DE CAS : LES TENSIOACTIFS ET LES POLYMERES

Deux cas illustrent cette étude de faisabilité du remplacement des matières premières d'origine fossile par leurs équivalents renouvelables : les tensioactifs et les polymères. La méthodologie suivie est de comparer les tensioactifs et polymères d'origine renouvelable à leurs « équivalents » non renouvelables. Cette étude est abordée sous deux angles : l'approche technique et l'approche socio-économique. Les résultats sont présentés de manière à considérer toutes les étapes du cycle de vie d'un produit. Un schéma du cycle de vie est présenté à la **figure 1**.

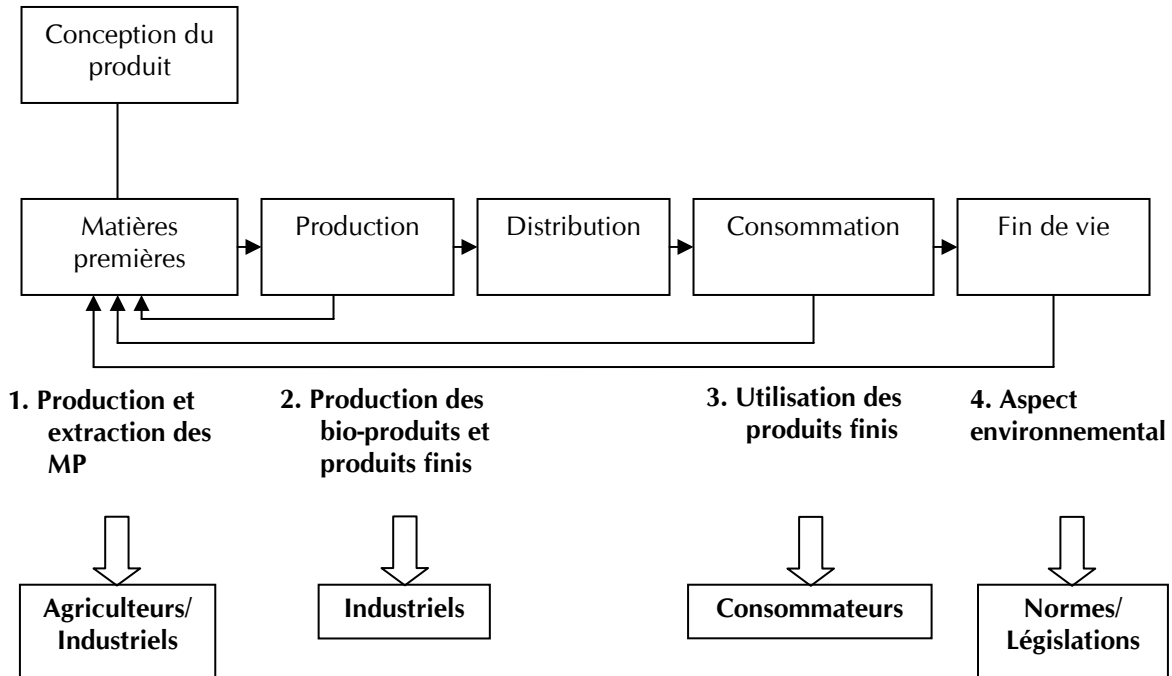


Figure 1 : Cycle de vie d'un produit (Adapté de Maxwell et van der Vorst, 2003)

Quatre étapes sont étudiées dans le cycle de vie des produits.

La première étape de ce schéma concerne les matières premières c'est-à-dire les producteurs de ressources, le secteur agricole. Nous avons étudié la production et l'extraction des matières premières d'origine végétale. Ensuite, nous avons exploré le contexte. Enfin, nous avons interrogé les agriculteurs afin de cerner leur situation, leurs intérêts et leur implication dans le secteur non alimentaire.

La deuxième étape est la production. Cette étape associée à celle de la distribution forme le secteur industriel. La production des bio-produits a été abordée de façon théorique via une analyse approfondie de la littérature. Elle a été complétée par des interviews avec les directeurs de recherche et développement d'entreprises travaillant dans les deux domaines qui nous intéressent (les tensioactifs et les polymères) ainsi que par des rencontres avec des distributeurs.

La troisième étape est la consommation. Le rôle du consommateur est primordial dans la pénétration d'un nouveau type de produit sur le marché. Nous avons étudié la sensibilité du consommateur aux problématiques environnementales comme le tri, mais aussi sa connaissance en matière de produits naturels et de labels, et également, les critères qui déterminent ses choix et ses intentions d'achats.

La dernière étape est la fin de vie du produit et les impacts environnementaux. A ce stade de l'étude une évaluation des surfaces disponibles et une campagne de dosage des tensioactifs dans les eaux ont été menées.

Nous verrons qu'un dernier acteur joue un rôle important dans la création de cette chaîne d'approvisionnement : les pouvoirs publics. Sans faire partie de la chaîne proprement dite, leur implication pourrait être primordiale dans le développement de l'utilisation de matières premières renouvelables à chaque stade de la chaîne. Leur rôle sera mis en exergue lors des recommandations.

2.1. Production et extraction des matières premières d'origine végétale

La production des matières premières comporte trois phases essentielles à savoir la culture, la récolte et l'extraction des matières premières. Les acteurs principaux qui interviennent dans cette étape sont les agriculteurs et les industries d'extraction.

2.1.1. Généralité sur les matières premières végétales

La diversité et la richesse en molécules à groupements fonctionnels des ressources renouvelables présentent un attrait et un réel potentiel pour le remplacement des ressources fossiles dans divers domaines. Les matières premières d'origine végétale, essentiellement des polymères, constituent la plupart du temps les parois cellulaires des plantes comme la cellulose, les hémicelluloses ou la lignine. Parfois, elles constituent les réserves en vue de croissance des plantes comme l'amidon ou interviennent dans les rôles physiologiques et biologiques comme les protéines et tannins. Ces matières premières peuvent être obtenues par extraction directe. D'autres intermédiaires sont obtenus après transformations chimique/enzymatique/physique.

Septante cinq pour cent des matières premières d'origine renouvelable sont des polysaccharides représentés essentiellement par la cellulose et l'amidon. La lignine, un composé phénolique, représente environ 20% des matières premières renouvelables. Les protéines et les lipides avec d'autres molécules ne représentent que 5% de ces matières premières.

Les **Figures 2 et 3** présentent les voies possibles de synthèse des tensioactifs et des polymères d'origine renouvelable.

Partie hydrophile	Intermédiaire	Liaison	Intermédiaire	Partie hydrophobe
Glucides				Lipides
Cellulose	Glucose		Acides gras	Triglycérides
Amidon	Dextrose		Alcools gras	Phospholipides
Saccharose	Pentose		Amines grasses	
Pectine	Sorbitol	<i>Amide</i>	Amides gras	
		<i>Ester</i>		
		<i>Ether</i>		
Protéines	Peptides	<i>Glycosidique</i>	Stérols	Terpènes Stéroïdes
	Acides aminés			Polyphénols
Produits d'hydrolyse de triglycérides	Glycérol et polyglycérols			

Figure 2 : Les voies possibles de synthèse des tensioactifs d'origine végétale

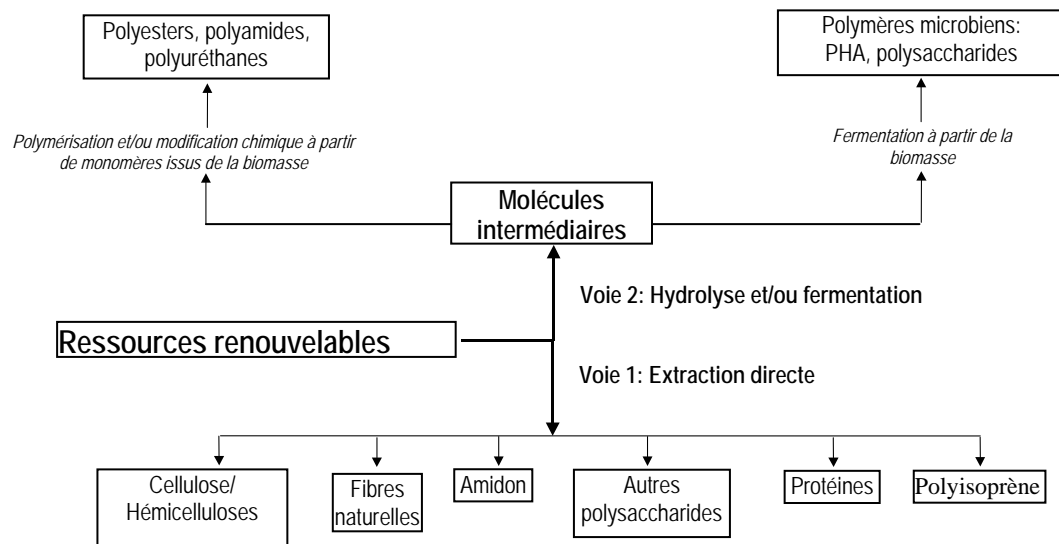


Figure 3 : Les voies d'obtention des polymères d'origine végétale

A. Les molécules intéressantes

Les matières premières issues des plantes, les transformations chimiques et/ou enzymatiques conduisant à la formation d'intermédiaires chimiques importants dans la synthèse de divers produits ainsi que les applications sont listées dans le **Tableau 3A** en annexe. Une attention particulière a été portée sur les différents types de tensioactifs et polymères issus du végétal ainsi que sur leurs applications.

Les matières premières renouvelables sont classées suivant trois familles de molécules à savoir les glucides, les lipides et les protéines. Une classe non négligeable des matières premières, représentée par les composés phénoliques, a également été reprise dans ce tableau.

Les ressources renouvelables offrent une infinité de matières premières et des molécules intermédiaires importantes pour la synthèse de divers tensioactifs et polymères. Les fonctions -OH, -COOH et -NH₂ présentes sur ces molécules sont responsables de leur réactivité chimique importante lors de la synthèse des tensioactifs et des polymères.

L'amidon est l'une des molécules qui présente un intérêt chimique. Il est formé de deux polysaccharides, l'amylose qui est une chaîne linéaire et l'amylopectine à chaîne ramifiée (**Figure 4**). La réactivité chimique de l'amidon est due aux 3 fonctions présentes sur les chaînes suivantes :

- une fonction alcool primaire présente sur le C₆
- deux fonctions alcools secondaires sur le C₃ et C₄
- une fonction pseudo-aldéhyde présente en C₁ aux extrémités réductrices.

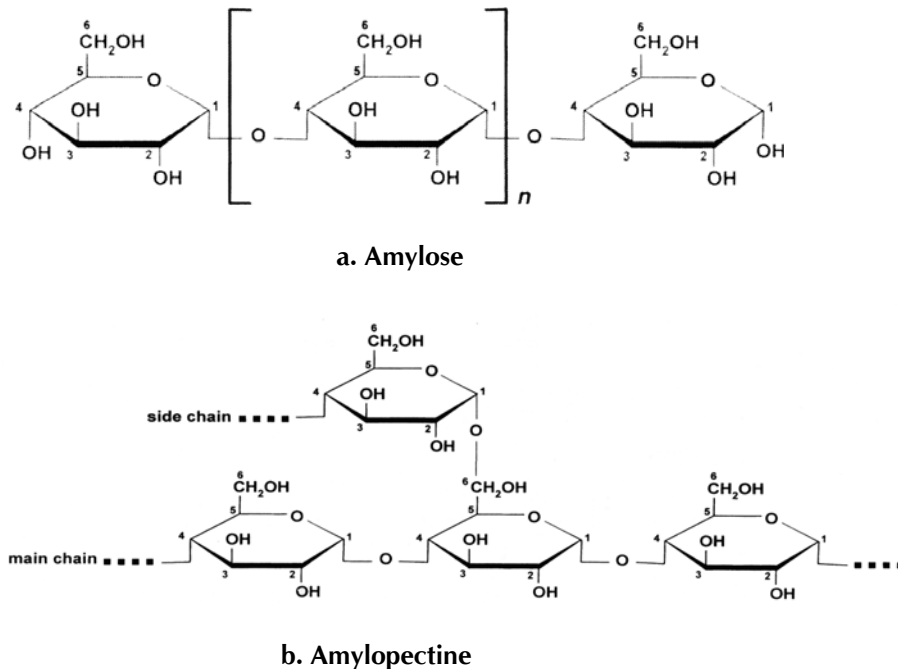


Figure 4 : Molécule d'amylose et d'amylopectine

L'amidon est présent dans diverses plantes telles que les céréales, les légumineuses et les pommes de terre.

Son extraction se fait en voie aqueuse à partir des grains. Plusieurs dérivés de l'amidon sont disponibles. Plus de 110 applications sont identifiées (www.roquette.fr/).

Dans le domaine des polymères, on peut citer ceux à base d'amidon, les polylactides (PLA) obtenus par polymérisation d'un produit de fermentation, l'acide lactique ou encore les polyuréthanes et résines créés à partir du sorbitol.

Dans le domaine des tensioactifs, on peut mentionner les alkylpolyglycosides (APGs) et alkylglucamides. Un aperçu des applications industrielles de l'amidon est résumé dans le **Tableau 1A** en annexe.

Les triglycérides représentent une autre classe de molécules particulièrement intéressantes (**Figure 5**). Constituants majeurs des huiles, leur réactivité est due à la présence des fonctions esters, facilement clivables en acide et alcool et la présence de certaines insaturations sur leurs chaînes alkyles. Plusieurs intermédiaires chimiques sont obtenus à partir des acides gras tels que les esters méthyliques, les alcools gras et amines grasses. Ces intermédiaires sont à la base de la synthèse de divers tensioactifs. Divers polymères (polyesters, polyéthers et polyamides) peuvent être obtenus après fonctionnalisation à partir des triglycérides. Les secteurs d'applications des huiles et leurs dérivés sont présentés dans le **Tableau 2A** en annexe.

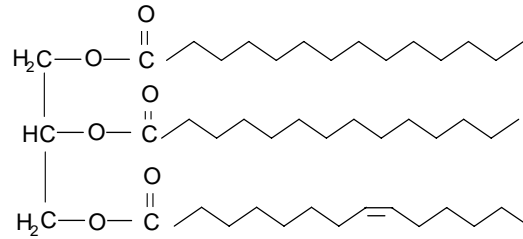


Figure 5 : Formule générale d'un triglycéride

Notons que l'oléochimie produit une quantité importante de co-produit, le glycérol. Ce dernier a également des applications dans le domaine des tensioactifs (esters de polyglycérols) et des polymères (polyuréthanes, plastifiants).

Les protéines, constituées de plusieurs acides aminés, sont également des molécules intéressantes. La diversité des acides aminés qui les constituent est à l'origine de la présence de plusieurs fonctions chimiques qui les rendent réactives. Les développements industriels pour les applications non alimentaires sont toutefois limités ou au stade de la recherche. Quelques applications potentielles des polymères à base de protéine de soja sont reprises dans le **Tableau 4A** en annexe.

B. Les avantages et inconvénients des matières premières renouvelables

Plusieurs avantages ont été attribués aux matières premières renouvelables liés surtout à leur disponibilité et leur impact environnemental global favorable. En effet, les matières premières d'origine végétale sont entièrement renouvelables dans une échelle de temps relativement courte (annuel). Elles ne présentent ni de problème de localisation géographique ni de problème de dépendance vis à vis des pays pétroliers.

Plusieurs gammes de molécules sont disponibles à partir des plantes permettant ainsi de varier les matières premières et les produits obtenus.

D'un point de vue environnemental, les produits synthétisés à partir des matières premières renouvelables sont généralement biodégradables et compostables évitant ainsi les problèmes de pollution par les déchets qui s'accumulent. Ils présentent un bilan CO₂ neutre grâce à leur cycle fermé du Carbone.

Quelques inconvénients des matières premières d'origine végétale ont été définis.

En réalité leur disponibilité peut dépendre des facteurs climatiques et géographiques. Les intempéries peuvent influencer et diminuer leur disponibilité. Certaines molécules ne sont pas disponibles dans les cultures tempérées. Citons l'exemple des oléagineux, les acides gras en C12-C14 ne sont fournis qu'à partir des huiles tropicales comme le palme.

D'autres problèmes d'uniformisation de produits peuvent apparaître. Citons le cas de l'amidon où la proportion amylose et amylopectine dépend de l'espèce conduisant à une variabilité des produits finis obtenus.

La production de ces matières premières inclut généralement plusieurs étapes de purification et produit des sous-produits lors de leur extraction. Notons qu'on peut toutefois valoriser ces sous-produits.

On reproche aussi à l'agriculture d'être grande consommatrice d'eau. De plus, certaines pratiques agricoles et les lessivages des engrais peuvent conduire au problème d'eutrophisation.

Enfin, la problématique des Organismes Génétiquement Modifiés est un facteur limitant supplémentaire dans l'utilisation des matières premières renouvelables.

2.1.2. Le contexte actuel

Cette section se consacre tout d’abord à des aspects contextuels comme la création de la PAC, ses objectifs et l’évolution du monde agricole.

A. L’évolution du monde agricole

Lors de la création de l’Europe, son agriculture n’était pas à même de satisfaire toute la demande en denrées alimentaires. Puis la tendance s’est inversée avant d’en arriver aux surplus auxquels les agriculteurs font actuellement face. La situation actuelle est non viable à long terme : le stockage des surplus est coûteux, les agriculteurs n’enrangent que de faibles bénéfices, les prix du marché sont insuffisants.

Pour limiter la production, l’Europe a restreint les prix garantis pratiqués. Cette mesure n’a pas eu l’effet escompté, les exploitants ont intensifié leur production afin de compenser le faible prix par une quantité plus importante.

Les prix du marché étant toujours insuffisants, les gouvernements européens ont dû intervenir afin de garantir des prix acceptables. Les aides soulagent momentanément les agriculteurs mais leur imposent des quotas. Ces derniers sont supposés assurer la maîtrise de la production. L’inconvénient, c’est que lorsque celle-ci dépasse la marge imposée, le prix du marché est appliqué, ce prix permettant à peine aux agriculteurs de rentrer dans leurs frais. Il ne s’agit donc pas d’une solution soutenable à long terme.

L’élargissement de l’Union Européenne pose de nouvelles questions. Les futurs pays entrants ne vont-ils pas aggraver la situation ?

D’autres solutions ouvrant des horizons plus larges à cette profession trop délaissée doivent voir le jour faute de voir le paysage agricole européen disparaître progressivement. En effet alors qu’en 1955 la Belgique comptait 212 000 exploitations agricoles, elles n’étaient plus que 53 221 en 2004 (source : INS). Cette problématique soulève de nombreuses questions tant sur le plan environnemental que social.

B. La PAC

B.1. La création et les objectifs de la PAC

La Politique Agricole Commune, créée le 30 juillet 1962, est la plus ancienne politique de l’Union européenne. Elle a été instaurée par l’**art. 3 du Traité de Rome** afin d’assurer l’approvisionnement agricole pour faire face à la pénurie d’après-guerre qui régnait.

Les cinq objectifs fondamentaux de la PAC sont énoncés dans l’**art. 39.1** du Traité.

Le premier est d’« accroître la productivité de l’agriculture en développant le progrès technique, en assurant le développement rationnel de la production agricole ainsi qu’un emploi optimal des facteurs de production, notamment de la main-d’œuvre ».

Le second est d’« assurer un niveau de vie équitable à la population agricole, notamment par le relèvement du revenu individuel de ceux qui travaillent dans l’agriculture ».

Le troisième est de « stabiliser les marchés ».

Le quatrième est de « garantir la sécurité des approvisionnements ».

Le dernier est d’« assurer des prix raisonnables dans les livraisons aux consommateurs ».

L’instauration de la PAC était indispensable. La mise en place d’une politique active des marchés et des prix, via une protection aux frontières et un mécanisme de soutien des prix intérieurs était nécessaire car le principe de concurrence parfaite, laissant libre cours au jeu de l’offre et de la demande, n’est pas applicable au monde agricole car la demande dans ce secteur est inélastique et peu sensible à l’effet de revenu.

Aujourd'hui, les objectifs de la PAC sont toujours d'actualité mais au cours des dernières années, plusieurs réformes ont dû être mises en place afin de l'adapter à cette politique active des marchés.

B.2. Les réformes de la PAC

La PAC a subi au cours du temps diverses réformes. Les excédents, la mondialisation des échanges, les différences observées entre les différents pays européens sont autant de raisons qui ont nécessité des modifications de la PAC. Voici un bref exposé des objets des différentes réformes subies par la PAC.

La réforme de 1992

En 1992, la PAC a subi une réforme afin de mettre en place un système de découplage proche du modèle utilisé depuis longtemps aux États-Unis.

Il s'agissait d'entamer une diminution des prix agricoles afin de se rapprocher des prix offerts sur les marchés mondiaux. L'objectif était d'amener l'Europe à exporter sans avoir recours aux subventions. En contre-partie, des aides directes ont été offertes aux agriculteurs. Elles étaient octroyées à l'hectare et calculées en fonction d'un rendement moyen régionalisé et moyennant un gel des terres.

Cette réforme a en fait anticipé les résultats des négociations du cycle d'Uruguay.

L'objectif des Accords Agricoles du Cycle d'Uruguay (1986-1994) était d'élaborer de nouvelles règles en matière agricole. Voici les grands axes de ces accords d'applications du 1^{er} janvier 1995 au 31 décembre 2005.

Ils s'articulent autour de trois axes : l'accès au marché, la concurrence à l'exportation et le soutien interne.

Par l'accès au marché, les pays ont pris des engagements afin de réduire leurs protections douanières. Le but étant de faciliter l'importation de produits agricoles.

En favorisant la concurrence à l'exportation, les pays (de l'U.E. mais aussi les U.S.A.) ont pris des engagements afin diminuer la concurrence déloyale existante. Pour réaliser cet axe, les subventions à l'exportation ont dû être réduites de 21% en volume par rapport à la période de base 1986-1990.

Le dernier axe de ces accords traite du soutien. Les pays ont pris des engagements afin de restreindre la concurrence déloyale engendrée par les subventions qu'ils effectuent en faveur des agriculteurs locaux. Tous les types de soutien ne sont pas interdits. Ils sont classés dans différents programmes d'aides (ces programmes ont été initialement proposés par le rapport Dunkel en 1991).

Le premier est le programme dit de la « boîte verte ». En font notamment parties les aides pour la recherche, la promotion commerciale, les catastrophes naturelles,.... Ces aides n'ayant pas d'effet de distorsion sur le commerce, sont acceptées.

Le second est le programme dit de la « boîte orange ». Il regroupe les aides qui sont interdites car entraînent une concurrence déloyale. Il s'agit entre autre d'apports financiers pour le sucre, les frais de stockage,.... Ces soutiens seront à terme tous supprimés.

Le troisième est le programme dit de la « boîte bleue ». Il est toléré car il n'a que des effets réduits sur le commerce. Il comprend notamment, les aides compensatoires pour les grandes cultures (lin, houblon), les primes d'abattages bovins et veaux,....

Enfin, le dernier est celui dit de la « boîte rouge ». Il se rapporte aux soutiens interdits.

La réforme de 1999

La réforme de mars 1999 avait comme objectif principal de favoriser l'exportation grâce à une diminution du prix des céréales de 15%. Elle a également prévu une restriction de

l'aide pour les oléagineux et les protéagineux. Ces cultures pourtant bénéficiaires en Europe sont de ce fait devenues beaucoup moins attractives pour les agriculteurs.

La réforme à mi-parcours 2000 - 2006

Le 26 juin 2003, le Conseil européen de l'Agriculture est parvenu à un accord fixant la réforme de la PAC. Le règlement (CE) n°1782/2003 traduit les principaux éléments de ces négociations. Les nouvelles dispositions sont entrées en vigueur le 1^{er} janvier 2005.

Cette réforme de la PAC introduit de nouveaux concepts dans le cadre de la gestion de l'exploitation agricole : le paiement unique découplé des aides, la modulation et la conditionnalité.

Le paiement unique. Le paiement unique implique qu'à partir du 1^{er} janvier 2005, les aides directes à la production sont découplées. Elles ne seront donc plus liées à la production. Ce qui signifie que les agriculteurs ne devront plus justifier leurs cultures. Ils recevront un paiement annuel. Le système de la demande spécifique sera abandonné au profit d'une demande globale de paiement. Pour obtenir ce dernier, l'agriculteur devra demander sa participation au régime de paiement unique et introduire une « déclaration de superficie et demande » en 2005.

Les aides concernées par le paiement unique sont les aides aux cultures arables (céréales, oléagineux, protéagineux), les jachères, lin, fourrages séchés, semences. Il s'agit, pour le secteur viande, des primes bovins mâles, brebis, à paiement supplémentaire aux détenteurs d'un quota laitier.

Le montant de référence sera calculé en fonction des aides reçues lors des années de référence, à savoir, 2000, 2001 et 2002. La moyenne des aides directes acquises durant cette période sera proposée en paiement unique. La superficie de référence équivaut à la moyenne de celles qui ont servi de base à l'attribution des aides pendant la période de référence. Pour que l'aide soit reçue il faut que l'exploitant occupe pendant au moins 10 mois les hectares considérés.

Ce nouveau système est un retour en arrière car les droits au paiement par hectare sont liés au propriétaire plutôt qu'à la terre comme c'était le cas jusqu'il y a peu.

La modulation. Un système de modulation est entré en application début 2005. Les exploitants recevant un montant supérieur à 5000 euros verront la partie excédant cette somme amputée de 3%. Ce pourcentage montera à 5% dès 2007.

La conditionnalité. La conditionnalité est le dernier axe de cette réforme. La perception des paiements est soumise à certaines conditions. Il y va du respect de la santé publique et de celle des animaux et des végétaux. Mais aussi de l'environnement, du bien-être des animaux et du maintien en état des terres qu'elles soient exploitées ou non.

B.3. Les perspectives à moyen terme pour les marchés agricoles de l'Union Européenne

Les perspectives à moyen terme envisagées dans la réforme par l'Union (Reform of the common agricultural policy, medium-term prospects for agricultural markets and income in the European Union 2003-2010), du moins pour le marché européen des céréales, s'avèrent relativement favorables. En effet, une augmentation des besoins intérieurs et des exportations est attendue et absorbera sans doute la légère croissance de la production de céréales.

Les prévisions à plus long terme avancent une stabilisation des importations et une augmentation modérée de la production au sein de l'Union Européenne ce qui compenserait une faible demande pour les céréales domestiques au sein de l'union mais aussi en exportation.

La politique agricole commune est un pilier de l'Europe difficilement réformable. Il semble pourtant primordial d'intégrer l'utilisation de ressources renouvelables à des fins non alimentaires dans cette politique.

2.1.3. Rencontre avec le secteur agricole

L'un des principaux buts de l'étude est la compréhension de la situation actuelle des agriculteurs, de leur intérêt et de leur implication dans la production à des fins non alimentaires. En effet, les exploitants sont un maillon essentiel de la chaîne d'approvisionnement. Cette section expose également les principaux résultats obtenus suite à la l'enquête réalisée avec le monde agricole.

A. La méthodologie

Afin de connaître l'opinion des agriculteurs belges sur la production à des fins non alimentaires, un appel aux agriculteurs intéressés par le sujet a été lancé via l'hebdomadaire « Le Sillon belge ». Ce journal agricole et horticole édité par les Editions rurales est lu par plus 90% de la population agricole belge. Monsieur de Neuville, journaliste dans cette revue, a accepté de publier un bref article rédigé par les chercheurs et exposant l'intérêt de l'étude. La note a été diffusée à travers tout le pays. L'article paru a permis d'interpeller un maximum de personnes et de les inviter à contacter les chercheurs afin de répondre à des questions par téléphone. A cette fin, un questionnaire a été établi afin de situer les répondants mais aussi leur niveau de connaissance en matière de production à des fins non alimentaires.

Pour avoir une vision complète de la problématique et développer le questionnaire, deux interviews en face à face ont été préalablement réalisées avec des agriculteurs. Cette phase exploratoire a permis de mieux formuler le problème et de mener une investigation précise (Evrard et al.1997). Ensuite, un pré-questionnaire a été établi et testé auprès de deux agriculteurs afin de s'assurer de l'accessibilité du questionnaire, du choix judicieux du vocabulaire, de la tournure des phrases,... Les questions traitaient des avantages et inconvénients de la production agricole à des fins non alimentaires, de la problématique des prix, de la qualité attendue,...l'entièreté du questionnaire est disponible à l'**Annexe 4A**. Une distinction était faite selon que les informants produisent ou non à des fins non alimentaires. Des aspects tels que les avantages et les inconvénients ainsi que les critères en matière de prix ou de qualité ont été abordés.

La littérature (Frey and Mertens Oishi, 1995) recommande de ne pas excéder 50 minutes pour entretien téléphonique. Selon les auteurs, lorsque les premières questions ont été acceptées par les informants, la contrainte temps disparaît. Pour cette étude, un questionnaire court, dont la durée de remplissage a été évaluée à 10 minutes a été établi. Cependant il s'est avéré que la durée approchait les 30 minutes pour la majorité des intervenants, le sujet traité suscitant des questions et controverses.

La technique de l'entretien téléphonique permet de rassembler plus d'informations qu'un simple questionnaire postal. En effet, grâce à l'interaction avec l'enquêteur, les intervenants donnent plus de détails, développent leurs opinions,... Cette méthode a donc permis d'obtenir plus rapidement des informations. De plus, cette technique est un moyen de collecte de données peu coûteux en terme d'argent mais aussi en terme de temps (il n'y aucun déplacement à effectuer). Enfin, comme il n'y a pas de contact visuel entre les répondants et l'intervieweur, les intervenants sont moins influençables et ont nettement moins tendance à répondre de manière socialement acceptable. Ils cherchent moins à « plaire » à l'interviewer, ils sont plus sincères dans leurs propos.

Il est cependant important de souligner que la manière dont les données ont été collectées a introduit un biais. En effet, ce sont les agriculteurs qui contactaient les interviewers et non l'inverse, il devait y avoir à la base un intérêt de leur part pour le sujet, les ressources renouvelables et le développement durable. En fait, il s'est avéré que la plupart des répondants connaissaient l'existence de la production agricole à des fins non alimentaires mais principalement dans le secteur énergétique et étaient intéressés par les opportunités qui pourraient s'offrir à eux. Seuls trois d'entre eux contactaient les enquêteurs afin d'avoir plus d'informations sur le sujet.

B. La production agricole à des fins non alimentaires en Belgique : la position des agriculteurs

Cette section présente les principaux résultats de nos interviews avec les agriculteurs. Elle montre les caractéristiques des agriculteurs ayant participé ainsi que leurs opinions en ce qui concerne les nouveaux débouchés et leur rôle dans une nouvelle chaîne de production.

Cette partie de l'étude souligne également l'importance d'une information concrète et claire à destination des agriculteurs.

B.1. Les données personnelles

La majorité des agriculteurs ayant répondu à notre annonce sont issus de la région wallonne et plus précisément de la province du Hainaut. Seuls quelques néerlandophones ont répondu à l'enquête. Ce phénomène peut peut-être s'expliquer par le fait que l'étude soit menée par trois universités wallonnes. Une carte montrant la répartition géographique des répondants est disponible dans l'annexe (**Figure 1A**). Cet attrait de la part des agriculteurs hennuyers s'explique sans doute par la proximité avec la France. En effet, ce pays étant en avance dans l'utilisation de la production agricole à des fins non alimentaires, les agriculteurs du Hainaut sont mieux informés des possibilités existantes. Ceci s'explique aussi par la présence de plusieurs entreprises dans cette région (Trénal, Vandeputte, Warcoing, Provital, Galactic...) ainsi que l'existence de groupements d'agriculteurs (FUJA...).

B.2. Les agriculteurs maillon de la chaîne d'approvisionnement : revalorisation et revitalisation de la profession

Les agriculteurs en tant que producteurs de matières premières renouvelables forment un maillon essentiel de la chaîne d'approvisionnement.

Le métier de fermier est un travail millénaire, respectant la tradition. Les agriculteurs sont les garants de cette dernière, ils produisent depuis toujours pour nourrir la population.

Lors de la rencontre à mi-parcours avec le panel d'experts l'un d'entre eux craignait qu'entraîner les agriculteurs dans la chaîne de production en redirigeant leur récolte vers le secteur du non-alimentaire était les réduire à des acteurs industriels. En fait, les agriculteurs font déjà partie du processus industriel, celui du secteur alimentaire. De plus, il apparaît clairement dans les interviews menées, que les agriculteurs sont prêts à produire pour l'industrie du non-alimentaire. Ils sont très réceptifs à ces nouveaux débouchés. Ils avancent plusieurs motivations. La principale est la revalorisation de leur activité. Actuellement, cette profession est de plus en plus délaissée car elle est devenue précaire. En effet, le contexte actuel n'est pas propice au développement de la profession. De nouveaux débouchés permettraient de redorer le métier et d'assurer la relève. Cette revalorisation a deux visages : un aspect purement financier mais aussi un aspect environnemental.

L'un des facteurs clés est donc le prix. Les agriculteurs attendent des prix adaptés, ceux actuellement proposés par le secteur de l'alimentaire étant trop bas. Ils espèrent qu'une

augmentation de la demande pour leur récolte de la part du secteur non alimentaire rétablira un certain équilibre et engendrera une augmentation des prix.

L'autre facteur est l'aspect environnemental. L'utilisation à plus grande échelle de matières premières renouvelables serait en continuité avec le retour aux valeurs « naturelles » et avec la vague du bio qui est née il y a quelques années. La qualité et le respect de l'environnement sont de plus en plus souvent mis en exergue. Certains consommateurs sont avides de ces valeurs.

Les agriculteurs sont assez motivés par ces nouvelles perspectives. Faire partie d'une chaîne de production qui améliorerait leur niveau de vie et revaloriserait leur profession les intéresse car l'avenir les inquiète. La situation actuelle n'est plus rentable, les débouchés offerts par le secteur alimentaire sont insuffisants.

B.3. Le manque d'information

Le développement de l'utilisation des matières premières renouvelables semble bénéfique pour le secteur agricole, grâce à l'ouverture de nouveaux marchés, la profession va être revalorisée. Cependant, les fermiers ne savent pas où trouver de l'information sur les possibilités qui existent. La plupart ont entendu parler des alternatives dans le secteur de l'énergie. Par contre le domaine des bioproduits est beaucoup plus obscur pour eux. Seuls quelques agriculteurs habitant près de la frontière française connaissent certaines possibilités. Les incertitudes actuellement liées à la qualité des matières à fournir ne les inquiètent pas. Mais s'ils se disent intéressés par ces nouveaux marchés, ils ne savent où trouver de l'information concrète et pratique.

B.4. Les freins

Le point crucial reste le prix.

Le mécontentement actuel des agriculteurs s'explique principalement par la précarité de leur emploi. Leurs revenus sont assez bas. Ils attendent des nouveaux débouchés un progrès de leur situation financière. Cette amélioration n'est possible que si des prix acceptables leur sont proposés. Un problème se pose cependant : afin de développer une production compétitive de produits à base de ressources renouvelables en Belgique, les prix doivent être maintenus à un niveau bas. Un calcul du prix optimal devrait être réalisé. Cependant plusieurs hypothèses sont envisageables. Il est probable que dans un premier temps, les prix devront rester bas afin de développer, un maximum, la filière. Cependant dans un second temps, les prix pourraient être revus à la hausse grâce à l'expansion du marché du renouvelable mais aussi grâce à un rééquilibre de l'offre et de la demande dans le domaine de l'alimentaire. En effet, une demande croissante des produits agricoles dans l'industrie du non-alimentaire pourrait affecter les prix du secteur alimentaire de façon positive, pour les agriculteurs.

Afin de leur offrir des prix acceptables, une intervention du législateur semble indispensable. La mise en place d'un système d'aides de démarrage serait la solution idéale permettant au marché de se développer sans pour autant handicaper le secteur agricole. En effet, « les agriculteurs ne demandent pas mieux que de produire à des fins non alimentaires. Mais il manque une volonté politique. Il faut mettre en œuvre une défiscalisation. En France et en Allemagne les choses sont beaucoup plus avancées dans le domaine de l'énergie » (Mr M., agriculteur). Cet agriculteur s'exprime pour le domaine de l'énergie mais il est souhaitable que de tels incitants soient également mis en place pour développer de nouveaux produits à base de ressources renouvelables.

La question des surfaces disponibles préoccupe également les agriculteurs. Selon eux, il faudrait revoir la situation actuelle et permettre une utilisation plus rentable des jachères. La gestion des surfaces cultivées nécessite l'évaluation des surfaces agricoles cultivées

actuellement. Elle est abordée dans la partie impacts environnementaux d'un remplacement à grande échelle des matières premières fossiles.

B.5. La question des OGM

Un problème soulevé par l'expansion de la production agricole à des fins non alimentaires est l'incertitude quant au recours aux organismes génétiquement modifiés. Il existe une littérature abondante sur les conséquences de l'utilisation des OGM pour la chaîne alimentaire et pour l'environnement. La perspective d'une production à grande échelle mène à la tentation de recourir aux OGM. Mais quelles pourraient être les conséquences de l'utilisation d'OGM dans le secteur non alimentaire ? Il s'agit d'une question éthique et technique difficile à résoudre. Certaines firmes garantissent que leurs biopolymères sont sans OGM, d'autres non. La question reste donc ouverte. Les conséquences à long terme de l'utilisation d'OGM sont encore méconnues.

2.1.4. Les leviers aux problèmes et les pistes de recommandations

- Pour faire face au manque de disponibilité des informations, une campagne d'information pourrait voir le jour. Ensuite, le recours à des facilitateurs faisant le lien entre le secteur industriel et le secteur agricole pourrait être envisagée. Elle permettrait à la fois d'informer les parties (agriculteurs et industriels) mais aussi de faciliter l'intégration des agriculteurs dans la chaîne d'approvisionnement, de créer de nouveaux contrats et débouchés en groupant les producteurs afin d'offrir aux industries les fournisseurs dont elles ont besoin.

- L'élaboration de contrats entre agriculteurs et industriels pourrait offrir une situation favorable aux agriculteurs tout en créant des bénéfices pour les industriels. La problématique du prix devrait cependant faire l'objet de recherches ultérieures. Pour ce faire, l'ensemble de la chaîne doit être pris en compte. Une intervention légale pourrait également aider au développement du secteur en proposant des aides spécifiques.

- Des analyses de toxicité sur l'organisme humain et sur les cultures environnantes sont essentielles afin de vérifier l'absence d'impact négatif des OGM mais aussi les impacts d'un développement de la surface cultivée, notamment en matière d'utilisation de pesticides et d'engrais.

- Développement du concept de bio-raffineries.

Le problème soulevé de formation de sous-produits lors de l'extraction/production des matières premières renouvelables pourrait être résolu en les intégrant dans un concept de bio-raffinerie. Ce concept vise à produire des matières premières à partir d'une ressource renouvelable par fractionnement. Il permet ainsi d'augmenter la valeur ajoutée des produits finis.

- Amélioration des processus d'extraction et de purification des bio-molécules.

Les procédés biotechnologiques présentent l'avantage de pouvoir travailler dans un milieu sans solvant et d'être plus sélectifs au niveau de la réaction. Par contre, ils ont souvent un rendement faible. Il serait intéressant de chercher des nouvelles souches productrices d'enzymes plus performantes pour améliorer la productivité.

- Valorisation des ressources renouvelables bon marché comme les sous-produits agricoles. Les lignocelluloses sont par exemple disponibles en grande quantité dans la biomasse. La recherche dans les technologies de fractionnement de cette matière première est un créneau à développer.

Le **tableau 1** résume les obstacles et les leviers au développement des matières premières renouvelables.

Tableau 1 : Les freins à l'utilisation des matières premières renouvelables et les leviers

Freins	Leviers
Hétérogénéité des matières premières	Elaboration de cahier de charges précis pour les matières premières
Production de sous-produits lors de l'extraction des matières premières	Valorisation des sous-produits en utilisant le concept de Bio-raffineries
Procédés de production avec plusieurs étapes de purification, rendement de production faible, coût élevé	R&D en matière de procédé de production : amélioration des rendements, valorisation des sous-produits à faibles coûts
Disponibilité des ressources renouvelables dépend de plusieurs facteurs : climatique (intempéries), géographique (certaines molécules ne sont pas disponibles dans certaines variétés de plantes), quantitatifs (insuffisance de surfaces cultivables)	Plusieurs fournisseurs Amélioration des plantes et des rendements de production Sélection de nouvelles variétés sources de nouvelles molécules ...
Pratiques agricoles conduisant aux problèmes d'eutrophisation et lessivages des fertilisants	Pratique d'« agriculture raisonnée » dont l'objectif premier est de réduire la quantité de substance chimique et de minimiser leur impact sur l'environnement
Agriculture grande consommatrice d'eau	Gestion des ressources
Problématiques des OGM	Applications non alimentaires pourraient bénéficier d'une exigence moins rigoureuse Démonstration de l'innocuité des produits pour rassurer le consommateur et l'influence d'une éventuelle contamination sur le champ sur les espèces traditionnelles
Manque d'informations concrètes	Lancement d'une campagne d'information via la mise en place d'un organisme faisant le lien entre les agriculteurs et les industriels
Prix inconnu	Fixation artificielle, création de programmes d'aides
Question des surfaces disponibles	Valorisation des jachères

2.2. Productions des bio-produits et des produits finis

La seconde étape du cycle de vie concerne le secteur industriel. Cette section expose les méthodes de production des applications choisies, le point de vue et des acteurs rencontrés et leur situation.

2.2.1. Modes de production des tensioactifs

A. Généralités

Un tensioactif est une molécule amphiphile comportant une partie hydrophile et une partie hydrophobe. Grâce à cette structure, il agit à l'interface pour abaisser la tension

interfaciale. Ainsi il possède à divers degrés, notamment des propriétés moussante, émulsifiante, mouillante et détergente importantes pour des applications cosmétiques, pharmaceutiques, alimentaires et dans le domaine des détergents. Suivant la charge de leur partie hydrophile, les tensioactifs sont classés en anioniques (avec charge négative), non ioniques (sans charge), cationiques (charge positive) ou amphotères (avec deux charges). Le **Tableau 5A** en annexe présente les différentes classes de tensioactifs, leurs propriétés et les applications.

Parmi les tensioactifs d'origine végétale, on distingue:

- les tensioactifs présents naturellement dans les plantes
- les tensioactifs de synthèse dont les deux parties constituantes sont des molécules extraites de plantes
- les tensioactifs semi-renouvelables de synthèse dont une seule partie provient des plantes
- les « bio-surfactants » obtenus par fermentation de substrats issus des plantes par les microorganismes

On peut relever dans le **Tableau 6A** en annexe les principaux tensioactifs issus des plantes.

B. Choix des tensioactifs

Afin de comparer les tensioactifs d'origine renouvelable et leurs équivalents fossiles, nous avons sélectionné les tensioactifs les plus utilisés dans les détergents et les shampoings. Les **alkylpolyglycosides** (APG) et les **alkylglucamides** (AG) sont les tensioactifs d'origine renouvelable les plus utilisés et possèdent des propriétés similaires. On peut les rencontrer dans les liquides vaisselles et les soins corporels. Ils sont comparés à un **sulfonate d'alkyle benzène linéaire** (LAS) tel le sodium dodécylbenzène sulfonate (SDS) et à un **sulfate éther d'alkyle** (AES) tel le sodium lauryl éther sulfate. Ces deux tensioactifs d'origine fossile sont les plus utilisés dans le domaine des détergents et soins corporels. Comme les APG et les AG sont des tensioactifs non ioniques, ils sont également comparés à leurs équivalents pétrochimiques non ioniques à savoir les **alcools gras éthoxylés** (AE). Ces derniers sont des tensioactifs non ioniques largement utilisés dans les détergents. Les molécules ont été comparées suivant leur mode de production, leurs propriétés et leurs performances.

B.1. Modes de production

- Les tensioactifs d'origine fossile

Mode de production de LAS

Le LAS, un tensioactif anionique est le plus important tensioactif en terme de consommation (2,5 millions de tonnes par an en 2002). Il est largement utilisé dans les détergents. Issues essentiellement de la pétrochimie, les matières premières sont le benzène et le paraffine. La synthèse du LAS consiste à une alkylation du benzène suivie d'une sulfonation en présence de SO₃ et neutralisation par NaOH. La formation de tétraline ou biphenyl susceptible d'avoir un effet négatif pour l'environnement est possible durant la synthèse de LAS. Le schéma de production est présenté en annexe (**Figure 2A**).

Production de sulfate éther d'alkyle (AES)

Le sulfate éther de lauryle est un tensioactif anionique de la famille du sulfate éther d'alkyle utilisé dans les détergents et plusieurs produits cosmétiques. C'est un excellent agent moussant, humectant et détergent. La plupart du temps la partie lipophile (alcool gras) est d'origine pétrochimique mais peut avoir une alternative renouvelable.

La synthèse de sulfate éther de lauryle se fait en plusieurs étapes. Elle comprend une réaction d'éthoxylation de l'alcool gras suivie de sulfatation en présence d'acide sulfurique ou l'anhydride sulfurique et finalement neutralisation par NaOH. Les réactions de synthèse sont détaillées en annexe (**Figure 3A**).

Production d'alcools gras éthoxylés (AE)

Les alcools gras éthoxylés sont des tensioactifs non ioniques. La plupart du temps l'alcool gras est d'origine pétrochimique. Il peut être aussi d'origine renouvelable.

Les étapes de production d'alcools gras éthoxylés sont présentées en annexe (**Figure 4A**).

L'inconvénient de la production des alcools gras éthoxylés est la température de travail élevée (entre 120 et 150°C). Par contre, il n'y a pratiquement pas de formation de sous produits ni de co-produits.

- Les tensioactifs d'origine renouvelable

Les alkylpolyglycosides

Les alkylpolyglycosides (APG) sont des tensioactifs non ioniques synthétiques dont les deux parties sont issues des ressources renouvelables comme l'amidon ou le glucose et l'alcool gras. Suivant la matière première, deux schémas de production peuvent se présenter (**Figure 5A** en annexe):

- le procédé direct qui consiste à faire réagir le glucose avec l'alcool gras en présence d'un catalyseur acide (glycosidation de Fisher)
- le procédé de transacétalisation en deux étapes mettant en jeu du butanol en partant de l'amidon ou du sirop de glucose.

Les alkylglucamides

Les alkylglucamides (AG) sont des tensioactifs non ioniques synthétiques dont les deux parties constituantes sont issues des ressources renouvelables telles que le sirop de glucose et les esters méthyliques d'acides gras. Les réactions de synthèse sont présentées en annexe (**Figure 6A**).

Notons que les alkylglucamides et les alkylpolyglycosides peuvent être synthétisés par voie enzymatique en utilisant des beta-glucosidases ou des lipases.

L'avantage de cette voie par rapport à la synthèse chimique est la spécificité de la réaction. De plus, il n'y a pas de formation de sous-produits. L'inconvénient majeur à l'heure actuelle est qu'elle est encore coûteuse à cause de son rendement faible.

Le **Tableau 2** compare les modes de production des tensioactifs. La difficulté des synthèses des tensioactifs d'origine végétale comme les alkylpolyglycosides se situe au niveau de la pureté des produits. En effet, suivant le degré de polymérisation un mélange d'homologues est obtenu. Dans le cas des alkylglucamides, la non spécificité de la réaction fait intervenir une étape supplémentaire de protection/déprotection des groupements et la formation de co-produits. L'existence d'une voie biotechnologique résout ces inconvénients mais le rendement reste à améliorer.

Par ailleurs, la production de sous-produits a été souvent citée comme un inconvénient des technologies utilisant les matières premières renouvelables. La valorisation des sous-produits agricoles et industriels est un point important à prendre en compte lors d'un développement de procédé de production. En réalité, il faudrait les traiter comme de nouvelles sources valorisables pour la production d'autres molécules à haute valeur ajoutée en les intégrant dans un concept de bioraffinerie.

La partie hydrophobe (alcool gras) des tensioactifs pétrochimiques peut avoir une alternative renouvelable. La tendance actuelle montre qu'à priori il n'y a pas de freins techniques à l'utilisation à grande échelle d'alcools gras d'origine végétale. En effet, la production d'alcools gras d'origine renouvelable dépasse celle d'origine pétrochimique et atteint 60% de la production totale. Seule la question de disponibilité des matières premières pour une production à grande échelle pourrait être soulevée. Elle sera traitée ultérieurement dans la partie gestion des surfaces agricoles.

En ce qui concerne les impacts environnementaux de la production des tensioactifs d'origine renouvelable, les analyses de cycle de vie disponible dans la littérature (**Annexe 15A**) indiquent une économie d'énergie fossile de plus de 50% lors de la production des tensioactifs végétaux par rapport à leurs équivalents non renouvelables. En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, les deux voies pétrochimiques et renouvelables sont presque comparables. Il faut toutefois noter que dans le cas des tensioactifs renouvelables, une partie des émissions provient de la combustion d'énergies renouvelables.

Tableau 2 : Comparaison des modes de production des tensioactifs

	Alkylpolyglycosides	Alkylglucamide	Sulfonate d'alkyle benzène linéaire	Sulfate éther d'alkyle	Alcool gras ethoxylé
Matières premières	Amidon , sirop de glucose, glucose Alcool gras	Glucose, amine méthylée Ester méthylique d'acide gras	SO ₃ Benzène, paraffine	H ₂ SO ₄ Alcool gras, oxyde d'éthylène	Oxyde d'éthylène Alcool gras
Origine	Renouvelable	Renouvelable	Non Renouvelable	Non renouvelable ou semi-renouvelable	Non renouvelable ou semi-renouvelable
Extraction des matières premières	Génère des sous-produits, valorisation des sous-produits	Génère des sous-produits, valorisation des sous-produits	Sous-produits de pétrole	La partie hydrophobe peut être d'origine renouvelable	La partie hydrophobe peut être d'origine renouvelable
Production Pureté	Mélange de produits avec différents degrés de polymérisation	Réaction pas spécifique par voie chimique et nécessite une protection/déprotection	Production possible de tétraline, indane et biphényl toxique		Pas de sous-produits
Energie nécessaire (GJ/t)	30	-	62,5	71	81
Emissions de CO₂ (kg/kg de surfactant)	1,9	-	1,9	2,2	2,2

B.2. Propriétés générales

Les propriétés des tensioactifs sont résumées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Comparaison des propriétés des tensioactifs

	Alkylpolyglycosi- des APG	Alkylglucamides AG	Sulfonate d'Alkyle benzène linéaire	Sulfate éther Lauryle AES	Alcools gras ethoxylé AE
Classe	Non ionique	Non ionique	Anionique	Anionique	Non ionique
Origine	Renouvelable	Renouvelable	Pétrochimique	Pétrochimique ou Renouvelable	Pétrochimique ou Renouvelable
Partie hydrophile	Glucose	Polyol (à partir de glucose)	Sulfonate	Sulfate	Oxyde d'éther
Partie hydrophobe	Chaîne grasse	Chaîne grasse	Alkylbenzène	Chaîne grasse	Chaîne grasse
Propriétés	Solubilité dépend de la température Leur propriété est peu influencée par la dureté de l'eau et les électrolytes Bonne propriété de mouillage et d'émulsion Stable dans une large gamme de pH Moins irritant	Propriété similaire à APG	Bon détergent Pouvoir moussant et propriétés émulsifiantes faibles Utilisation dans les détergents	Rapidement hydrolysé par les acides Propriétés physico- chimiques dépendent des électrolytes	Propriété dépend du nombre d'oxyde d'éthylène - entre 6 et 10 OE : détergent - sup. à 10 O.E : dispersant, humectant et émulsifiant
Biodégrada- bilité	Bonne	Bonne	Faible (anaérobie)	Bonne	Bonne
Utilisations	Détergents ménagers, produits d'hygiène corporelle, produits phytosanitaires	Détergents, produits d'hygiène corporelle	Détergents ménagers, liquide vaisselle, détergents industriels, peintures, textile	Produits d'hygiène corporelle, détergents ménagers, shampooing, bains	Détergents ménagers, produits d'hygiène corporelle

Le sulfonate de benzène alkyle linéaire est un bon détergent mais présente une faible biodégradabilité en anaérobie. Les Alkylpolyglycosides, tensioactifs non ioniques, sont stables dans une large gamme de pH et leurs propriétés sont peu influencées par la dureté de l'eau. Ils ont plutôt des propriétés émulsifiante et mouillante que détergente. Les alcools gras ethoxylés, leurs équivalents pétrochimiques, suivant le nombre d'oxyde d'éthylène (entre 6 et 10) présentent des propriétés de détergence.

B.3. Performances des tensioactifs dans les produits finis

Choix des produits finis

Les tensioactifs sont présents dans de nombreux produits. Les étudier tous serait impossible dans le cadre de cette étude. C'est pourquoi, afin d'évaluer les tensioactifs d'origine renouvelable, deux applications ont été choisies : les shampooings et les détergents. Pour cerner au mieux la problématique, ces deux produits ont été définis de façon très précise, à savoir les shampooings pour cheveux normaux et les produits de

vaisselle à la main. Ce sont deux produits utilisés en grande quantité pouvant contenir jusqu'à 40% de tensioactifs dans leur formulation. Ils contiennent les tensioactifs sélectionnés. Quelques exemples de formulations de produits de vaisselle à la main et shampooings sont présentés en **Annexe 1A**.

Le choix des shampooings a été privilégié car ce sont des produits qui peuvent avoir une forte valeur ajoutée. De plus, le consommateur semble accorder une importance grandissante à la valeur du bien-être par rapport à celle du paraître.

Pour réaliser l'état de l'art de ces produits, un relevé systématique a été réalisé dans plusieurs enseignes des villes d'Anvers, de Bruxelles et de Namur. Une sélection des magasins de ces trois cités a permis de survoler le marché. En effet, le recensement s'est effectué à la fois dans des magasins dits « verts » ou « biologiques », des grandes surfaces, des drogueries, des parfumeries ou des coiffeurs. Les enseignes sélectionnées furent : Aldi, Carrefour, De kruiderij, Delhaize, Di, Inno, Héma, La Maison des plantes, Kruitvat, Olivier Dachkin, Planet parfum, Séquoia, Spar, The Body Shop et Yves Rocher. Le relevé s'est interrompu lorsque les redondances se sont accumulées. Un relevé des produits, de leur provenance et de leur prix est disponible en annexe dans le **Tableau 7A**.

La principale constatation est que les prix proposés tant pour les liquides vaisselle que pour les shampooings varient dans un intervalle très important.

Pour les liquides vaisselle, l'intervalle s'échelonne de 0.54 à 5.22 euros le litre.

Pour ce qui est des shampooings, les prix varient dans un intervalle de 0.75 euro à 220 euros par litre. Ceci confirme le choix de ces derniers pour leur importante valeur ajoutée.

Notre enquête a également permis de constater qu'il n'existe pas de corrélation entre la caractéristique « naturel » et le prix.

Formulation des liquides vaisselle à la main

Dans ce type de produit, le sulfonate d'alkyle benzène linéaire (LAS), le sulfate éther d'alkyle en C12 (AES) et les alcools gras (AG) sont les tensioactifs les plus utilisés. Les tensioactifs jouent un rôle déterminant dans ce type de produits et sont les ingrédients principaux.

Formulation des shampooings

Dans la formulation des shampooings, le sodium laureth sulfate (un alkyl éther sulfate) est souvent le tensioactif principal et peut représenter jusqu'à 40% des ingrédients. Les APGs sont fréquemment utilisés dans les shampooings sous le nom de cocoglucosides ou décyglucosides. Ils sont appréciés pour leur propriété non agressive pour la peau et pour leur bonne propriété moussante.

La liste des ingrédients cosmétiques

Sur l'étiquette des produits cosmétiques, les ingrédients doivent être mentionnés d'après la nomenclature INCI (International Nomenclature Cosmetic Ingredient).

Ils sont énumérés par ordre décroissant de leur importance pondérale dans la formulation.

Plusieurs produits cosmétiques sont proposés actuellement comme d'origine naturelle, mais les indications et le terme « naturel » prêtent à confusion et il est difficile de faire la différence entre ceux qui contiennent des ingrédients de base d'origine naturelle et ceux qui ne contiennent qu'un « extrait naturel ». Quelques tensioactifs d'origine renouvelable dans les formulations shampooings sont présentés dans le **Tableau 8A** en annexe.

En ce qui concerne les détergents, selon le règlement européen n° 648/2004, les étiquettes doivent obligatoirement comprendre des informations sur le contenu des détergents et des produits d'entretiens et indiquer les ingrédients susceptibles de provoquer des allergies.

Détermination des propriétés attendues

La détermination des propriétés attendues est basée sur les attentes des consommateurs. Pour le liquide vaisselle, les propriétés recherchées sont par exemple l'efficacité détergente, la non agressivité pour l'épiderme, le bon pouvoir moussant et la bonne viscosité. Pour les shampooings les propriétés recherchées sont le nettoyage facile, le moussage abondant et rapide, la non irritation du cuir chevelu, de l'épiderme et des yeux ainsi que la facilité de rinçage.

Performance des surfactants suivant les applications

La comparaison des performances des tensioactifs est illustrée par une étude réalisée par l'ADEME/AGRICE (n°0101020 : Analyse fine des marchés de produits de référence dans le secteur des tensioactifs, définition des propriétés à atteindre en fonction des applications envisagées). La performance a été évaluée suivant 6 critères à savoir : la facilité de mise en œuvre, le pouvoir détergent, le pouvoir moussant, le pouvoir mouillant, les pouvoirs hydrotope et émulsifiant des tensioactifs. Les résultats obtenus sont présentés en annexe dans le **Tableau 9A**. L'analyse du tableau permet de conclure que les tensioactifs à base de matières premières renouvelables possèdent des performances comparables aux tensioactifs d'origine fossile pour les pouvoirs émulsifiant et hydrotope ainsi que pour la facilité de mise en œuvre. Ils possèdent des meilleures propriétés moussantes par rapport à leurs équivalents non renouvelables. Le LAS possède toutefois de meilleures propriétés de détergence. L'intérêt des tensioactifs d'origine renouvelable réside dans le fait qu'ils sont compatibles avec les autres classes de tensioactifs et qu'il peut y avoir des effets de synergie. La non agressivité recherchée dans les produits finis est apportée par ces produits. Les tensioactifs d'origine renouvelable sont donc des co-tensioactifs pour les détergents et un tensioactif doux pour les cosmétiques.

B.4. Les freins actuels

Le **Tableau 4** reprend les différents obstacles à l'utilisation des tensioactifs d'origine renouvelable dans les détergents et shampooings. Certains freins ont été déjà cités dans l'analyse générale (**Tableau 1**) et qui est également d'application ici.

Les shampooings sont des produits à haute valeur ajoutée. Les différences de prix la mettent en avant et nous permettent d'affirmer que le prix n'est pas le critère de choix principal sur lequel le consommateur se base pour sélectionner un shampooing. Par contre les liquides vaisselle sont des produits à moins forte valeur ajoutée pour lesquels le prix est un facteur plus important.

Pour chacune de ces deux catégories de produits, il existe des produits affichant un respect pour l'environnement. Certains l'annoncent clairement, d'autres se disent à base de plantes. C'est surtout le cas des shampooings. Ces derniers n'en contiennent pourtant que très peu. Il serait plus juste de parler d'extraits. On remarque que les producteurs créent des lignes « vertes » à la demande du consommateur. Celui-ci souhaite pouvoir choisir ses produits dans une gamme plus respectueuse de l'environnement. Cependant, on observe une diminution de l'intérêt pour le « bio » (notamment pour la gamme du même nom lancée il y a quelques années par le groupe Delhaize). Par ailleurs, les produits se disant naturels n'ont presque jamais une place privilégiée dans le rayon. Leur aspect naturel n'est pas mis en avant par le distributeur. Il est également intéressant de noter que les produits répertoriés ne possèdent pas de

label. Si les étiquettes des différents produits annoncent parfois la présence de tensioactifs d'origine renouvelable, la lecture de la composition ne permet que rarement de faire la différence entre les tensioactifs d'origine végétale et ceux d'origine fossile.

Tableau 4 : Freins à l'utilisation des tensioactifs d'origine renouvelable et les leviers

TENSIOACTIFS	Freins	Leviers
Matières premières	Hétérogénéité des matières premières (les tensioactifs à base de protéines sont dépendants de la source de protéine) Disponibilité des matières premières renouvelables : dans le domaine des détergents, les huiles tempérées ne fournissent pas les chaînes courtes C12-C14 nécessaires	Elaborer un cahier de charges pour les matières premières par exemple les sources à partir desquelles elles sont extraites R&D pour améliorer les propriétés détergentes des huiles tempérées par fonctionnalisation ou par formulation Rendre plus hydrophile les molécules de tensioactifs par exemple Amélioration des plantes et sélection variétale
Procédés de production	Rendement de production faible (surtout par voie biotechnologique) Formation de mélanges ou de complexes	R&D pour améliorer le rendement, recherche de nouvelles souches plus performantes Synthèse plus sélective (par voie enzymatique par exemple)
Performance des produits finis	Pour certaines fonctionnalités comme la détergence les produits sont moins performants Par exemple, balance HLB limitée pour les tensioactifs à base d'APG (degré de substitution limité)	R&D pour améliorer les performances notamment les propriétés de détergences en considérant les HLB, CMC... Produits avec une large gamme de HLB, améliorer l'hydrophilie de la molécule
Applications	Limitées dans certaines applications	Exploiter le caractère multi-fonctionnel des tensioactifs d'origine renouvelable Mises en œuvre de formulations diverses
Marché	Coût élevé de la R&D Manque de visibilité de ces produits dans le rayonnage Composition peu compréhensible pour le consommateur	Financement par des programmes d'aide Promotion de ces produits
Coût	Détergents, produits à plus faible valeur ajoutée ne pouvant supporter un prix plus élevé	

B.5. Pistes de recommandations

Les freins relevés dans le chapitre précédent ne limitent pas réellement l'utilisation de tensioactifs d'origine renouvelable dans les formulations cosmétiques. Dans le domaine des cosmétiques, ces tensioactifs apportent les caractéristiques attendues par le consommateur notamment la non irritabilité et l'abondance de mousse.

Par contre, dans le domaine du détergent, leur utilisation comme tensioactif principal pose plus de problème à cause de leur faible pouvoir détergent. Les

priorités de recherche seront dès lors axées dans cette voie. Les pistes de recherche proposées sont :

- Amélioration du pouvoir détergent des tensioactifs d'origine végétale en augmentant l'hydrophilie des molécules. En effet, l'inconvénient des tensioactifs d'origine végétale réside dans le fait qu'ils possèdent un faible HLB.
- Valorisation des matières premières issues des ressources agricoles tempérées dans les synthèses des tensioactifs comme le colza et le tournesol. En effet, ces cultures ne fournissent pas les chaînes grasses C12-C14 requises dans le domaine des détergents. La recherche pourrait s'orienter par fonctionnalisation des chaînes grasses pour avoir les propriétés de détergence des huiles tropicales ou par formulations en créant des synergies avec d'autres molécules d'origine renouvelable. Une autre voie intéressante est le clivage des chaînes grasses insaturées pour obtenir des chaînes plus courtes qu'on pourrait fonctionnaliser.
- Exploitation des caractères multifonctionnels des tensioactifs d'origine végétale. En effet, ces derniers possèdent à la fois des propriétés adoucissante, émulsionnante et mouillante.

2.2.2. Modes de production des polymères

A. Généralités

On peut classer en trois catégories les polymères issus des plantes (**Annexe 2A**):

- Les polymères synthétisés par les plantes tels que les polysaccharides, les polyphénols, les protéines, les terpènes, etc. Ces biopolymères constituent la plupart du temps les parois cellulaires et servent de réserve pour leur croissance.
- Les polymères synthétisés à partir de monomères issus de la fermentation des ressources renouvelables tels que les polylactides (PLA) et les polyglycoliques (PGA). D'autres polymères qui ne sont pas nécessairement biodégradables sont synthétisés à partir d'intermédiaires obtenus par transformations chimiques des matières premières renouvelables comme par exemple les polyuréthanes à base d'huiles.
- Les polymères synthétisés naturellement par les microorganismes par fermentation en utilisant des ressources renouvelables comme les polyhydroxyalcanoates (PHB (Polyhydroxybutyrate) et PHV (polyhydroxyvalérate), les polysaccharides (xanthane, dextrane, gellane, pullulane...)

Une liste des polymères biodégradables et les producteurs principaux est présentée en annexe dans le **Tableau 10A**.

B. Choix des polymères

Lors de cette étude, nous avons choisi de comparer deux polymères d'origine végétale à deux polymères biodégradables d'origine fossile.

Le **polylactides** (PLA) et le **polymère à base d'amidon** d'origine renouvelable ont été choisis et comparés à la **Polycaprolactone** (PCL) et le **Polybutylène Succinate** (PBS).

Le PLA et le polymère à base d'amidon sont les deux biopolymères émergents sur le marché actuel. En Belgique, la société GALACTIC produit le monomère « lactide » nécessaire pour sa synthèse à partir de sucre de betterave sucrière. L'acide lactique

peut être aussi obtenu à partir de l'amidon après hydrolyse puis fermentation. L'amidon et le saccharose, matières premières de base, sont disponibles en Belgique. Le polymère à base d'amidon est également un polymère intéressant à étudier. Novamont, en Italie est un des grands producteurs en Europe. En Belgique, la société Powerpack fabrique des sacs et films à base de polymères d'amidon fournis par Novamont. Ces biopolymères sont comparés avec la Polycaprolactone (PCL), un polymère biodégradable d'origine fossile qui possède une structure similaire à celle du PLA. Notons que la société Belge Solvay produit ce polymère sous le nom commercial CAPA®. Le polycondensat d'un diacide et d'un diol d'origine pétrochimique PBS sera également évalué. L'exemple de BIONOLLE produit par SHOWA DENKO en Allemagne a illustré cette étude.

B.1. Modes de production

- Les polymères d'origine végétale

Mode de production des polylactides

Le schéma de production des polylactides est présenté en annexe (**Figure 7A**).

Les polymères d'acide lactique sont produits soit par polycondensation de l'acide lactique (voie 1) soit par polymérisation par ouverture de cycle (voie 2) d'un dimère lactide.

L'inconvénient majeur de la voie 1 réside dans la formation de l'eau durant la polycondensation qu'il faut éliminer à température élevée (130°C) par distillation azéotropique avec un solvant (le diphényléther par exemple) et pendant un temps relativement long (30h). De plus, le contrôle du poids moléculaire est difficile à cause de la corrélation entre le degré de polymérisation (DP_n) et la conversion des groupes fonctionnels (p) traduit par la formule $DP_n = 1/(1-p)$. Un polymère à haut poids moléculaire est seulement obtenu lorsque le taux de conversion est élevé (99%). La présence d'impureté comme l'éthanol ou l'acide acétique provenant de la fermentation limite également la polymérisation. Le fait de travailler en présence de solvant est un des désavantages de cette méthode directe.

La polymérisation par ouverture de cycle est développée industriellement par Natureworks LLC (anciennement Cargill Dow). Elle comprend deux étapes. La première étape consiste à la formation du lactide intermédiaire à partir de l'acide lactique en présence d'un catalyseur organométallique (Octanoate d'étain). Un mélange de L-Lactide, D-Lactide et mésolactide est obtenu puisque l'acide lactique est une molécule chirale. Par distillation ou recristallisation, on peut purifier les lactides. En effet, les propriétés des polymères dépendent de la stéréostructure.

La deuxième étape conduit à l'ouverture du cycle en présence d'un catalyseur octanoate d'étain. Par cette voie, la polymérisation est plus rapide (elle dure de 2 à 5 heures au lieu de 30 heures). La POC présente également un avantage du fait que l'on travaille en absence de solvant.

Mode de production des polymères à base d'amidon

En présence d'un plastifiant (glycérol, sorbitol, urée ...) et sous l'action de la température et de l'effet de cisaillement, l'amidon peut être transformé en amidon thermoplastique. Les plastifiants diminuent les liaisons hydrogènes intermoléculaires et apportent une stabilité au matériau. En le mélangeant avec d'autres polymères biodégradables, on améliore sa propriété mécanique et son imperméabilité à l'eau (**Figure 8A** en annexe).

La technologie brevetée par Novamont pour produire des copolymères d'amidon consiste à la déstructuration de l'amylose et de l'amylopectine en présence de macromolécules qui formeraient un complexe avec l'amylose. Ces macromolécules peuvent être d'origine naturelle ou synthétique et biodégradables. Le complexe formé avec la macromolécule est généralement cristallin et caractérisé par une simple hélice d'amylose formée autour de l'agent complexant. L'amylopectine n'interagit pas et reste dans son état amorphe (Innocenti et Bastioli, Starch-based Biodegradable polymeric Materials and Plastics. History of a Decade Activity UNIDO, Trieste 2002).

4 classes de polymère à base d'amidon sont ainsi disponibles chez Novamont avec des grades différentes.

La classe Z, un copolymère d'amidon thermoplastique et de PCL, est utilisée pour les films et les feuillets.

La classe V, contient plus de 85% d'amidon thermoplastique, est utilisée pour les emballages de calage.

La classe Y, complètement d'origine naturelle à base d'amidon thermoplastique et de dérivé de cellulose, est utilisée pour les articles rigides.

La classe A est un copolymère d'amidon et de polyéthylène vinyle alcool et réservée pour des applications où la compostabilité n'est pas nécessaire.

- Les pétropolymères

Mode de production de la polycaprolactone (CAPA de Solvay)

La polycaprolactone (PCL) est un polyester aliphatique saturé. Il est synthétisé par polymérisation par ouverture de cycle du ϵ -caprolactone. Ce dernier est synthétisé à partir du cyclohexane par oxydation avec l'acide péracétique.

Le schéma de production est présenté en annexe (**Figure 9A**).

Mode de production du BIONOLLE

Le BIONOLLE est un polyester aliphatique obtenu par polyestérification d'un diol (butane diol) avec un diacide (acide adipique et/ou succinique). Notons que ces molécules peuvent être produites par voie biotechnologique. Le schéma de production est présenté en annexe (**Figure 10A**).

Les modes de production des quatre polymères sont comparés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5: Comparaison des modes de production des polymères

	PLA	A base d'amidon	PCL	PBS
Matières premières	Acide lactique	Amidon , plastifiant, autres polymères	ϵ -caprolactone	Butane diol Acide succinique/ adipique
Origine	Renouvelable	Renouvelable Semi-renouvelable	Non renouvelable	Non renouvelable
Extraction des matières premières	Peut générer des sous-produits valorisables	Peut générer des sous-produits valorisables	Provient des sous-produit de pétrole	Dérivé du pétrole, peut être d'origine renouvelable
Production	Plusieurs étapes de purification	Co-polymérisation	-	-
Energie (GJ/t)	54,2	53,5	77	-
Emission de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq/kg)	3,84	1,21	5,0 – 5,7	-

L'atout principal des polymères d'origine renouvelable est en rapport avec les modes de production n'utilisant pas de solvants. En utilisant des matières premières renouvelables, les biopolymères préservent les ressources fossiles épuisables et permettent d'économiser jusqu'à 50% d'énergies fossiles. De plus, les procédés utilisant les matières premières renouvelables émettent moins de gaz à effet de serre. Comme dans le cas des tensioactifs, les procédés de production des matières premières génèrent des sous-produits qu'il faudrait valoriser.

L'apport de la propriété de biodégradabilité dans les polymères issus des ressources fossiles augmente le coût de ces derniers. Le coût est alors comparable voire plus élevé que ceux des biopolymères dans ce cas. On pourrait dès lors penser que l'un des avantages des biopolymères est cette propriété et le respect de l'environnement des procédés de production.

La disponibilité des matières premières pour une production à grande échelle est traitée dans la partie gestion des surfaces.

B.2. Propriétés générales

Le **Tableau 6** reprend les caractéristiques thermo-mécaniques des quatre polymères. Elles sont explicitées en **Annexe 3A**.

Tableau 6 : Comparaison des caractéristiques des polymères

Propriétés	A base d'amidon MATER-BI NF (classe Z) (Novamont)	PLA film Natureworks 4042D Film orienté biaxialement (Cargill Dow)	PCL CAPA ^R 6000 (Solvay)	PBS BIONOLLE 1000 (Showa Denko)
Densité (g/cm ³)	1,29	1,21 – 1,25	1,1	1,26
Température de fusion (°C)	135	110	60 - 62	114
Température de transition vitreuse (°C)	52	55	-60	-32
Résistance à la traction σ (Mpa)	22	21/55	54	60/65
Elongation maximum ϵ (%)	160 (25,4 μm)	3 – 40	920	660 (30 μm)
Dureté shore D			50	32
Perméabilité				
Taux de transmission O ₂ (cm ³ μm /m ² /d atm)	13970	-	10000	-
Taux de transmission CO ₂ (cm ³ μm /m ² /d atm)	76200	-	-	-
Taux de transmission H ₂ O (g μm /m ² d)	8255	< 10000	-	-

Les conditions, les normes et les équipements de mesures différents ne permettent pas une comparaison réelle entre les polymères.

Néanmoins, les données du tableau permettent de conclure à une légère supériorité des matériaux d'origine fossile d'un point de vue propriété mécanique. Les polymères à base d'amidon présentent des propriétés mécaniques généralement plus faibles que les autres.

Propriétés du PLA

Le PLA possède des propriétés mécaniques comparables à celles des polyéthylènes conventionnels avec une résistance à la traction d'environ 50 MPa et un allongement à la rupture faible. Les propriétés dépendent de la forme L ou D de l'acide. Il présente une bonne propriété de brillance et de transparence mais reste fragile sans plastifiant. Il est imprimable et soudable à chaud.

Propriétés des polymères à base d'amidon

En présence d'un plastifiant comme le glycérol et sous l'action de la température et de l'effet de cisaillement, l'amidon peut être transformé en matière thermoplastique. L'inconvénient majeur de ce matériel est sa fragilité due à sa température de transition vitreuse élevée et à sa perméabilité à l'humidité. De ce fait, l'amidon thermoplastique est souvent mélangé avec d'autres polymères pour améliorer leurs propriétés. MATER-BI de Novamont est un exemple de copolymère d'amidon et d'autre polymère comme la cellulose ou la PCL.

Propriétés de la PCL

La PCL à haut poids moléculaire possède un bas point de fusion. Il est à l'état dit « type cuir » à température ambiante et possède une résistance à la traction relativement faible. Par contre, l'allongement à la rupture est élevé. C'est un polymère facile à travailler. Le PCL est miscible dans la plupart des polymères (PVC, ABS, polyéthylène, polypropylène, polycarbonate, polysulfone et polyvinyl acétate). Il possède une bonne résistance à l'eau, l'huile, le solvant et le chlore. Il possède des propriétés adhésives à chaud, une bonne transparence et une stabilité à la lumière.

Propriétés du BIONOLLE

Le BIONOLLE est un polymère cristallin thermoplastique. Il possède une bonne propriété mécanique proche des PE ou PP. Il est imperméable à l'oxygène mais perméable à la vapeur d'eau. Il est biodégradable et se met en œuvre sur les équipements classiques. Les avantages et inconvénients des biopolymères et des polymères d'origine fossile sont résumés dans le **Tableau 7**.

Le premier intérêt des polymères biodégradables repose sur leurs procédés de production plus respectueux de l'environnement. Les matières premières sont renouvelables et les procédés utilisent moins d'énergie fossile et émettent moins de gaz à effet de serre. De plus, les techniques de transformations conventionnelles pour les polymères pétrochimiques sont adaptables pour ces types de polymères. Les procédés de production nécessitent toutefois plusieurs étapes et sont plus coûteux en général par rapport à leurs équivalents pétrochimiques.

Un deuxième intérêt de ces biopolymères réside dans certaines propriétés intrinsèques que pourraient apporter ces matériaux dans des applications bien ciblées. Ils possèdent néanmoins quelques propriétés moins performantes qu'il faudrait améliorer notamment les propriétés mécaniques des polymères à base d'amidon et les propriétés thermiques des polylactides.

Tableau 7 : Les avantages et inconvénients des polymères d'origine fossile et renouvelable

	Polymères d'origine renouvelable		Polymères d'origine fossile	
	Polyactides	Polymère à base d'amidon	Polycaprolactone	Polybutylène Succinate
Avantages				
Environnementaux	- Biodégradable et compostable - Bilan neutre de CO ₂	- Biodégradable et compostable - Bilan neutre de CO ₂	- Biodégradable et compostable	- Biodégradable et compostable
Matières premières	- La matière première est renouvelable	- La matière première est renouvelable et bon marché		- D'origine fossile mais une alternative biotechnologique existe
Mise en œuvre	- Mise en œuvre sur matériel conventionnel	- Mise en œuvre sur matériel conventionnel (thermoformage, soufflage, gonflage, extrusion ...)	- Mise en œuvre facile par les techniques usuelles	- Mise en œuvre sur matériel conventionnel
Propriétés	- Bonne propriété de barrière aux odeurs et saveurs - Bonne propriété de brillance et de transparence - Imprimable et soudable à chaud - Recyclable	- La température de mise en œuvre n'est pas élevée et ne nécessite pas beaucoup d'énergie - Imprimable et soudable - Antistatique - Recyclable	- Soudables et imprimables - Transparence et stabilité à la lumière - Recyclable	- Bonne propriété mécanique et thermique - Mise en œuvre facile par les techniques usuelles - Recyclable
Inconvénients				
Coûts	- Coût de production encore élevé par rapport aux polymères conventionnels	- Coût élevé par rapport aux polymères conventionnels	- Coût élevé	- Coût élevé
Matières premières		Structure de l'amidon changeant en fonction de l'espèce de la plante (problème d'uniformisation des produits)	- Matière première provenant de ressources fossiles épuisables	- Matière première provenant de ressources fossiles épuisables
Environnement			- Matières premières issues des ressources fossiles donc augmentent les émissions des gaz à effet de serre	- Matières premières issues des ressources fossiles donc augmentent les émissions des gaz à effet de serre
Propriétés	- Ne résiste pas à haute température - Rigidité	- Propriété mécanique faible s'il n'est pas mélangé avec un autre polymère - Perméabilité à l'eau (incompatible pour emballer un liquide) - Performance technique insuffisante	- Température de fusion basse limitant la température de service des matériaux	

B.3. Performance des biopolymères dans les applications emballages films et sacs

Afin d'évaluer en détail leurs propriétés et performances, les sacs de sortie de caisse et les emballages films ont été choisis. Ces deux produits ont été choisis pour l'importance de leur volume d'utilisation ainsi que la difficulté de gérer les déchets, qui la plupart du temps finissent dans la nature.

Pour ces deux produits, une étude du marché sur le terrain est difficilement réalisable. En effet, les films d'emballage à destination du consommateur final ne sont encore réalisés à base de ressources renouvelables.

Des recherches ont cependant permis de relever le nom de plusieurs entreprises. Actuellement seules quelques sociétés ont tenté l'aventure du renouvelable.

En Belgique le marché du biopolymère est quasi inexistant. Quelques entreprises en produisent pour des marchés de niche assez limités. Par exemple, Powerpack réalise des sacs poubelles à base d'amidon ainsi que des emballages pour journaux. Delplast essaie d'intégrer les biopolymères dans sa production de films. Denico Green Products produit des emballages alimentaires à base de matériaux biodégradables et des applications dans le domaine de l'agriculture comme les films de paillage et pots de fleurs. Galactic développe actuellement une technologie de production industrielle de biopolymères à base d'acide lactique et se dit prête pour une production à grande échelle. D'autres entreprises commencent à commercialiser les biopolymères. Par exemple, Defimex vend des sacs biodégradables et Biopack propose tout un assortiment de produits biodégradables, des produits de catering ou produits funéraires. Le milieu de la grande distribution commence aussi à s'intéresser aux biopolymères. C'est le cas de Carrefour qui emballe ses produits biologiques dans des films biodégradables à base de cellulose (NATUREFLEX) et à base d'amidon (MATER-BI). Bio-planet (Colruyt) emballe quelques produits alimentaires avec des emballages biodégradables à base de PLA. La chaîne de distribution Covée spécialisée dans les aliments surgelés commercialise ses produits dans des barquettes, fabriquées à base d'amidons.

La part du plastique biodégradable est en croissance mais reste marginale par rapport à l'utilisation du plastique en général. En 2005, Ernst & Young estime la part des polymères biodégradables à 0.32%.

Le survol de la situation actuelle du marché soulève la problématique du prix des polymères d'origine renouvelable par rapport à celui de leurs équivalents fossiles. Le coût est un énorme frein, étant donné que les emballages n'apportent aucune valeur ajoutée, les clients les veulent au moindre prix. Il semble que seules les niches puissent offrir des débouchés aux polymères à base de matières premières renouvelables.

Il semblerait que les recherches et les développements actuels au niveau des entreprises soient plus axés sur la biodégradabilité que sur la mise au point de nouveaux matériaux issus du renouvelable. Cependant on observe un début de croissance pour le secteur du biopolymère. On trouve actuellement des emballages biodégradables dans de nombreux supermarchés en Europe, comme par exemple, Carrefour, Monoprix et Migros en France; Albert Heijn aux Pays-Bas et Carrefour et Covée en Belgique.

Dans le secteur de la production, il y a aussi des avancées. Au moment de la rédaction du présent rapport, la société Galactic annonce la maturité des recherches effectuées sur la production industrielle du PLA et son attente en investissements afin de rendre son projet commercialisable.

Intérêts des biopolymères pour les applications emballages et sacs

La plupart des films plastiques sont à base de polyéthylène basse densité (LDPE). Ils sont essentiellement utilisés pour le conditionnement automatique (films imprimés), les suremballages (films plastiques de fixation), l'agriculture et l'horticulture (film de paillage et de serre), les sacs plastiques et sacs poubelles ainsi que les sacs à grande contenance mais aussi pour diverses applications techniques comme les bandes magnétiques, le mobilier en plastique ou les cartes de crédit... La première propriété mise en avant chez les biopolymères est leur biodégradabilité ou plus exactement leur compostabilité. Cette propriété est intéressante lorsque les critères « courte durée de vie » et « jetable » de l'application sont évidents. Ainsi dans le cas des applications emballages et sacs, les biopolymères apporteraient une solution aux problèmes de gestion de leurs déchets sans pour autant pousser à l'abandon dans la nature. Il est donc nécessaire de mettre en place un système de valorisation en aval comme le compostage des sacs et films biodégradables.

La propriété de biodégradabilité est intéressante pour les critères suivants :

- Les emballages de courte durée de vie et jetables
- Les emballages alimentaires souvent contaminés par les aliments qu'ils contiennent (par exemple la graisse) et difficiles à recycler
- Les sacs et emballages à destination des consommateurs : ils sont difficiles à gérer, sont en général éliminés dans la nature et ne sont pas recyclés, d'où l'intérêt des sacs biodégradables
- Pour les magasins bios, les emballages biodégradables apportent un plus pour leur image de marque
- Les sacs de compostages et sacs poubelles pour déchets organiques et déchets verts
- En milieu hospitalier où la question d'hygiène est stricte, les sacs pour emballer les linges contaminés pourraient être biodégradables, ils se désintègreront pendant le lavage à l'eau chaude et le résidu de polymère sera biodégradé en station d'épuration
- Et enfin en général pour tout ce qui est déchet difficile à gérer et qui est susceptible d'être abandonné dans la nature (citons l'exemple des emballages à destination des gens qui travaillent sur les bateaux : les déchets sont malheureusement jetés à la mer ce qui entraîne un risque d'étouffement par les plastiques pour les animaux marins).

D'autres propriétés intrinsèques des biopolymères, comme par exemple, leur barrière aux gaz et aux odeurs, apportent des caractéristiques intéressantes pour différentes applications.

Les deux polymères à base de matière première renouvelable choisis lors de cette évaluation sont les polymères à base d'amidon et les polymères PLA. Ils sont illustrés par l'exemple de MATER-BI® de Novamont et Natureworks™ de NATUREWORKS LLC (anciennement Cargill Dow). Quelques applications de ces polymères dans les applications emballages films et sacs sont reprises dans le **Tableau 11A** en annexe.

Les avantages et inconvénients des emballages et sacs à base de matière première renouvelable par rapport aux plastiques conventionnels sont données dans le **Tableau 8**. Ce tableau a été établi sur base des caractéristiques données par les producteurs et des propriétés annoncées dans la littérature.

Tableau 8 : Les avantages et inconvénients des emballages et sacs à base de matière première renouvelable

	MATER-BI® (Novamont)	Natureworks™ (NATUREWORKS LLC)
Propriétés technologiques		
Points forts	<ul style="list-style-type: none"> + Doux et agréable au toucher + Ne produit pas de bruit au toucher + Antistatique + Plus élastique + Imprimable et scellable + Pas hermétique: évite les condensations dans les emballages + Stérilisable par des rayons gamma + Plusieurs grades de Mater-Bi sont compatibles avec la législation sur les emballages alimentaires + Peut être collé avec des adhésifs à base de solvant et d'eau + Recyclable 	<ul style="list-style-type: none"> + Propriété de brillance + Bonne propriété de barrière aux UV + Bonne propriété de transparence + Propriétés mécaniques comparables au PET et meilleures que PS + Mémoire de plis + Thermoscellable à faible température + Imprimable avec un coefficient de friction faible : économie d'encre et de colorant + Bonne propriété de barrière aux odeurs et arômes + Résistance à la matière grasse + Anti-condensation + Compatible pour des produits en contact avec les aliments (n'interagit pas avec les aromatiques, cétones, esters et composés sulfureux) + Recyclable
Points faibles	<ul style="list-style-type: none"> - Propriété mécanique et résistance légèrement inférieure - Opaque pour certaines applications - Hygroscopicité limitant son utilisation en tant que composant majoritaire dans des matériaux polymères devant présenter des durées de vie relativement longues 	<ul style="list-style-type: none"> - Film moins élastique - Ne résiste pas à haute température - Rigidité - Bruit de frottement

L'analyse du tableau permet de constater que plusieurs caractéristiques spécifiques des biopolymères comme la brillance, la transparence, les propriétés de barrière aux arômes et aux odeurs et la facilité de pliage des films à base de PLA ou encore la propriété antistatique des films à base d'amidon sont particulièrement intéressantes pour les applications emballages films et sacs. Ils conviennent par exemple pour emballer des aliments. La propriété de perméabilité à la vapeur d'eau pourrait être exploitée pour éviter les condensations dans les emballages et augmenter la durée de conservation des aliments emballés.

Ces films présentent toutefois quelques faiblesses. La résistance mécanique faible des films à base d'amidon réduit la solidité des emballages et sacs. Le manque d'élasticité des films à base de PLA limite actuellement leur utilisation pour des applications comme les emballages type « cellophane » de confiseries ou de fleurs. De même, ils ne conviennent pas pour les emballages à atmosphère contrôlée à cause de leur perméabilité aux gaz.

Le développement et le succès de leur utilisation dépendront donc en partie de la recherche de solutions aux problèmes actuels de performance. Cependant, les

problèmes technologiques ne sont pas eux-mêmes des freins irrémédiables à leur utilisation. Les connaissances et les outils disponibles à l’heure actuelle permettront d’améliorer les performances des produits à court ou à moyen terme. La problématique des coûts est plus difficile à résoudre.

2.2.3. Rencontre avec le secteur industriel

L’augmentation du prix du pétrole et le risque d’amenuisement des ressources fossiles ouvrent de nouvelles perspectives aux matières premières renouvelables. Le secteur industriel commence à s’intéresser à ces matières. Les attentes et les progrès sont en pleine expansion mais les incertitudes et les freins sont nombreux. Cette section expose la situation actuelle du marché belge ainsi que les avantages et les inconvénients pour le secteur industriel de l’utilisation des matières premières renouvelables à des fins non alimentaires.

A. La méthodologie

L’aspect industriel de ce projet a été étudié à travers 24 interviews en face à face réalisées avec les directeurs des départements de recherche et développement travaillant dans les deux domaines d’application choisis, les tensioactifs et les polymères. Lors du relevé des produits déjà commercialisés, une liste des produits et leurs producteurs respectifs a été établie. Sur base de cette dernière ainsi que grâce aux informations relevées sur Internet, les producteurs belges de matières premières, les transformateurs, les producteurs de produits finis et les distributeurs ont été contactés. L’objectif fut essentiellement de comprendre le marché belge. Notre enquête nous a cependant amené à rencontrer certaines firmes basées à l’étranger. Les firmes ayant participé à l’étude sont listées dans le **Tableau 12A** de l’annexe.

Des entretiens semi-directifs, ne reposant pas sur un questionnaire standardisé, structuré et précis, ont permis d’explorer dans le détail les attitudes, les opinions et les motivations des directeurs de R&D. Ces entretiens se caractérisent par la définition préalable d’un schéma d’entretien. Les thèmes à aborder dans un certain ordre ont été repris dans un guide prévoyant des questions majoritairement ouvertes. L’avantage de cette technique est qu’elle permet de récolter un maximum d’information en un minimum de temps grâce à la facilité de dépouillement et à la multiplication des contacts. (Pellemans, 1999)

Plusieurs aspects ont été abordés lors de ces entretiens. L’utilisation ou non des ressources renouvelables dans l’entreprise et les perspectives dans ce domaine ont été traitées. Des questions concernant les avantages et les inconvénients de l’utilisation des ressources renouvelables ainsi que les difficultés que l’industrie rencontre lors de l’implémentation des matières premières renouvelables dans le processus de production (aspects autant financiers que techniques) ont été posées. La disponibilité de l’information et l’évolution des ventes grâce à l’implémentation des matières premières renouvelables ont été traitées. La situation des concurrents et le rôle du gouvernement ont été étudiés aussi. Le guide complet du questionnaire est disponible à l’**Annexe 5A**.

Les sections suivantes présentent les résultats de nos entretiens. Plusieurs aspects se détachent.

B. L’aspect marché

B.1. Le cas des tensioactifs

Suite à nos rencontres avec le monde industriel nous avons noté qu’actuellement les matières premières renouvelables sont bien répandues dans le domaine des tensioactifs. C’est surtout le cas en Allemagne. Cognis, grand producteur de tensioactifs, s’y consacre notamment.

En Belgique l'engouement est moins marqué, la tendance est plutôt à l'utilisation de tensioactifs d'origine fossile ou au recours à un « mix » (un mélange de matières renouvelables et de fossiles).

Le frein derrière cette non-utilisation ne semble pas être lié au prix de la matière. En effet les différences de prix observées sont soit inexistantes soit relativement faibles dans le domaine des tensioactifs. Il est plus juste de parler d'un choix de « statu quo » et de facilité. L'absence de matières renouvelables dans la formulation des shampooings et des détergents est principalement due à l'habitude de travailler avec une formule existante.

L'aspect financier intervient plutôt au niveau de la recherche. Il s'agit bien sûr de la recherche en laboratoire mais aussi de la recherche d'un nouveau fournisseur ou de la matière adéquate. En effet, les matières premières renouvelables ne sont pas toujours disponibles sur le marché. De plus, toutes les molécules ne sont pas disponibles en version « renouvelable ».

B.2. Le cas des polymères

Le marché des polymères naturels ne représente qu'une part infime de l'énorme marché du polymère belge. Les polymères sont présents dans de nombreuses applications. Pourtant les biopolymères, malgré les nouvelles propriétés qu'ils offrent aux produits les intégrant, ne percent pas. Actuellement seuls quelques marchés de niches profitent de ces nouvelles propriétés. Ces dernières sont particulièrement intéressantes dans le domaine médical (fils biorésorbables,...), dans le domaine agricole (films de paillage biodégradable,...) ou dans le domaine du catering par exemple. Le frein est ici d'ordre financier. Si ces marchés de niches peuvent se permettre de travailler avec une matière première coûteuse, les applications de grandes consommations ne sont actuellement pas envisageables.

Le premier frein de l'utilisation à plus grande échelle des biopolymères est donc le coût. En effet, le prix des matières premières renouvelables par rapport à leurs équivalents pétrochimiques est plus de deux fois plus élevé. Une telle différence se répercute dans le prix du produit final, ce qui n'est pas pour plaire au consommateur. Les applications que nous étudions, les films et les sacs étant des produits à faible valeur ajoutée, ils peuvent difficilement supporter la moindre augmentation de prix des matières premières.

Il est vrai que l'augmentation du prix du pétrole va permettre une réduction de l'écart entre le prix des polymères d'origine végétale et ceux d'origine fossile mais celui-ci ne sera significativement réduit qu'à long terme. Tout au plus cette croissance du prix des matières fossiles permet-elle une prise de conscience de l'existence des matières renouvelables.

La solution réside dans deux grands axes : la recherche et la législation. Actuellement, des recherches sont en cours afin de tenter de recourir aux matières premières extraites des sous-produits agricoles moins coûteuses. Au niveau légal une intervention du législateur semble incontournable pour rendre les biopolymères plus abordables, comme nous l'avons évoqué précédemment dans la section consacrée aux agriculteurs.

Malgré ces obstacles, le secteur se développe petit à petit en Belgique. Plusieurs industriels saisissent les opportunités, Galactic est ainsi à la recherche de fonds, car après des années de recherches, l'entreprise est prête pour la commercialisation. D'autres sont tentés par ce secteur plein de promesses. Mais ils manquent d'informations et de ressources propres (financières, R&D) et sont donc à la recherche de collaborations. Enfin, certains se contentent de faire une veille technologique.

La très lente diminution des prix des matières plastiques à base végétale s'explique par un manque de concurrence dans le domaine. En effet, il n'existe actuellement que deux grands producteurs sur le marché : Novamont et Natureworks LLC. Alors que

Novamont regrette justement cette absence de concurrence qui l'oblige à avancer seul dans la recherche et donc à maintenir des prix élevés ; les autres entreprises tentées par l'aventure déplorent le maintien des prix à des niveaux exagérément hauts ce qui empêche le marché de s'ouvrir et donc ne leur ouvre pas les portes du biopolymère.

Un cercle vicieux est donc à l'œuvre. Sortir de ce cercle requiert une intervention externe. Si le marché du biopolymère se développait les économies d'échelles permettraient de réduire les coûts. Il est primordial de trouver le levier qui permettra au marché de se développer.

C. L'aspect mise en œuvre

C.1. Le cas des tensioactifs

En Belgique, plusieurs entreprises utilisent pour leurs tensioactifs un mélange de matières premières fossiles et matières premières renouvelables. Le choix du dosage varie selon les propriétés recherchées, les tensioactifs d'origine renouvelable n'offrant pas les mêmes propriétés que ceux d'origine fossile.

Il faut noter qu'au cours de ces dernières années, le taux d'utilisation des tensioactifs d'origine renouvelable est croissant. Les matières premières renouvelables sont plus présentes car plus abordables et plus efficaces qu'auparavant. Les industriels les incorporant dans leurs formules peuvent envisager de nouvelles perspectives en proposant à leurs clients des applications plus attractives grâce à leurs nouvelles propriétés.

Il est cependant important de souligner que tous les tensioactifs d'origine fossile ne peuvent actuellement pas être remplacés par un équivalent renouvelable. En effet la performance des tensioactifs d'origine végétale est parfois inférieure à celle de leur contrepartie d'origine pétrochimique. De ce fait, du point de vue formulation, il est nécessaire de compenser par un autre ingrédient, ce qui entraîne des coûts et aussi une utilisation plus importante de matière (ce qui implique plus de déchets). De plus si souvent l'intégration de ces nouvelles matières ne nécessite pas d'importants changements dans la formulation existante, l'intégration d'une nouvelle molécule d'origine végétale nécessite des tests de performance et de compatibilité avec les autres ingrédients, démarche pouvant être compliquée et coûteuse. C'est principalement le cas lors de l'association des matières premières renouvelables avec les huiles essentielles où des problèmes de solubilisation peuvent intervenir.

Si un mix de matières fossiles et de matières renouvelables est aisément envisageable, un remplacement à 100% est difficilement réalisable car toutes les molécules ne sont pas substituables à l'heure actuelle. C'est par exemple le cas des conservateurs et des anti-mousses.

Dans l'état actuel de la recherche, les deux origines sont complémentaires pour obtenir certaines applications, les molécules d'origine pétrochimique ne peuvent donc pas être systématiquement écartées.

C.2. Le cas des biopolymères

Actuellement, aucune firme belge n'utilise exclusivement des matières premières renouvelables même si certaines se lancent tout doucement dans l'aventure en proposant quelques produits spécifiques. Au delà du prix ou de la conquête du marché, l'aspect technique est aussi à prendre en compte. Si, dans la plupart des cas, la mise en place des matières premières renouvelables n'entraîne pas d'investissements en nouvelles machines, il est nécessaire de souligner que les entreprises ayant passé le cap du renouvelable rencontrent quelques difficultés de dosage et de calibrage lors de leurs premiers essais. Les entreprises peuvent ainsi accumuler un certain retard dans la production. Cette problématique met en avant le rôle des fournisseurs. Ces derniers peuvent aider les entreprises lors des premiers essais et les guider afin que la transposition

se fasse rapidement. Nous voyons se dessiner ici la nécessaire collaboration entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

D. L'aspect utilisation

D.1. Le cas des tensioactifs

Un autre avantage de l'utilisation de ces matières est le renforcement de l'aspect « respect de l'environnement ». Ce dernier présente, pour certaines entreprises, un attrait du point de vue marketing. D'ailleurs certaines d'entre elles font une distinction entre la formulation de leur gamme « classique » et celle de leur gamme « verte » et réservent les tensioactifs d'origine végétale à cette seule dernière.

Au delà de l'aspect marketing, l'idéologie de la compagnie joue un rôle important. Certaines se considèrent non seulement comme producteurs mais se voient aussi investies d'un rôle à jouer vis-à-vis de l'environnement. Elles considèrent avoir une responsabilité envers leurs consommateurs et leur proposent donc des produits plus respectueux de l'environnement.

D.2. Le cas des polymères

Plusieurs entreprises affirment qu'il y a un manque de connaissance de la part de leurs consommateurs. Ces derniers ne connaissent pas l'existence des matières renouvelables et n'en évaluent donc pas les avantages et opportunités. Certaines communes de la Région Flamande ont déjà tenté de distribuer des sacs biodégradables pour les déchets de jardin. Cependant des difficultés sont apparues car les citoyens ne savaient pas comment utiliser ce type de sac. Or dans de mauvaises conditions de stockage par exemple, les sacs commencent à se désintégrer. Il est donc primordial d'informer et de sensibiliser les consommateurs. Des campagnes de sensibilisation seraient certainement les bienvenues. Actuellement, les biopolymères, présentés lors de salons ou de foires, font surtout office de gadget aux yeux du consommateur. Le marché commence lentement à se développer avec l'aide des producteurs qui investissent non seulement en R&D mais aussi afin de faire connaître leurs produits et de les faire tester.

E. L'aspect légal et la labellisation

La législation actuelle n'aborde que très peu la problématique des ressources renouvelables. Il y a des lacunes dans ce domaine car, lorsque des investissements considérables doivent être consentis sur des marchés encore mal définis, les entreprises vont hésiter à devancer les contraintes et les incitants légaux (Rennings, 2000). Ceci pose un frein supplémentaire au développement de ces nouvelles applications car les problématiques de coûts des matières premières, de qualité fonctionnelle des produits et de méconnaissance du consommateur final les handicaperaient. Il semble donc primordial que l'impulsion vienne du législateur. Une réglementation au niveau national, voire européen, permettrait une utilisation plus intensive des ressources renouvelables via la mise en place d'incitants ou de mesures contraignantes. Certains directeurs de R&D assurent que le développement de la filière ne peut se faire sans une intervention au niveau juridique. D'autres pays, comme l'Allemagne, ont déjà pris des mesures dans ce sens afin de permettre au marché des matières premières renouvelables de se développer. Ainsi les sacs biodégradables sont exemptés d'écotaxe jusqu'en 2012. La différence de prix avec les sacs jetables est de cette façon réduite. En France, les sacs non biodégradables ne seront plus acceptés d'ici 2010. Aux Etats-Unis, le Département d'Agriculture américain a lancé le Programme Fédéral des Achats Préférentiels de Bioproduits, ayant pour but d'augmenter significativement l'utilisation de bioproduits industriels dans les institutions.

Au delà de l'aspect purement légal, la question de la labellisation a également été abordée lors des interviews avec les directeurs de recherche et développement. Les opinions divergent.

La majorité des entreprises ne sont pas intéressées par l'utilisation d'un écolabel. Ce manque d'engouement s'explique par l'absence d'uniformité dans les critères à remplir pour l'obtenir. De plus, les labels sont nombreux, peu connus des consommateurs et la plupart du temps, la présence d'un écolabel ne garantit pas l'utilisation de matières premières renouvelables. Un autre frein à l'expansion de l'utilisation des écolabels est la lourdeur des démarches administratives que les industriels doivent remplir pour les obtenir.

D'un autre côté, certaines entreprises se disent intéressées par l'obtention d'un écolabel parce qu'il y a une demande de la part de leurs consommateurs. Selon elles, la présence d'un écolabel renforce l'aspect « vert » de leurs produits. Dans le secteur des polymères certaines entreprises ont obtenu ou sont en passe d'obtenir le label d'AlB Vinçotte. C'est notamment le cas de Carrefour qui a beaucoup investi dans les emballages biodégradables et veut lancer un signal clair au consommateur mais aussi aux entreprises de traitement des déchets. En effet, actuellement, il n'y a aucune reconnaissance des avantages des propriétés de biodégradation des biopolymères. Ils ne bénéficient donc d'aucun traitement de faveur (par exemple il n'existe pas de suppression des écotaxes comme c'est le cas en Allemagne).

Un pas vers la généralisation de l'utilisation des biopolymères est le développement d'une labellisation claire au niveau belge.

F. L'aspect environnemental

Les entreprises travaillant dans le secteur du polymère ont souligné la nécessité de développer une chaîne de traitement des déchets. En effet, si aucun traitement spécifique n'existe pour les matières premières renouvelables, leurs intéressantes propriétés comme la biodégradation ne sont pas exploitées.

La mise en place d'une chaîne de compostage pourrait être une solution. Cependant elle ne serait applicable que si une labellisation claire à destination du consommateur est développée. Sans la présence d'un label, ou d'une autre forme de reconnaissance, un tri efficace est impossible. Une alternative proposée par certains industriels est le recyclage. Selon eux, le recyclage est plus intéressant car on récupère la matière au lieu de la laisser se dégrader dans la nature. D'autres préconisent l'incinération car la présence de plastique dans les incinérateurs contribue à la destruction des autres déchets. On pourrait ainsi récupérer de l'énergie. Ces recommandations ont été analysées dans la section « impacts environnementaux » consacrée au traitement des déchets.

Certaines entreprises se sont étonnées de notre démarche. En effet, tout en étant préoccupées par les aspects environnementaux, elles considèrent que l'utilisation de matières premières renouvelables n'est pas nécessairement la meilleure solution à explorer. Tout d'abord, selon elles, l'analyse de la toxicité et de la biodégradation des produits est plus importante. Elles trouvent qu'un matériau toxique peut être utilisé s'il est facilement biodégradable et s'il n'entre jamais en contact avec l'environnement. Les personnes de cet avis ajoutent que la toxicité est indépendante de la source (fossile ou renouvelable) du matériau.

Ensuite, plusieurs industriels trouvent inutile de se consacrer à des applications comme les polymères ou les tensioactifs car ils ne représentent qu'une faible part de l'utilisation des ressources fossiles. Notons toutefois qu'en terme de volume, ces matières premières sont loin d'être négligeables. De plus, ils avancent qu'une production suffisante de matière première renouvelable est difficilement réalisable en Belgique. Ils vont plus loin

en argumentant qu'un tel développement entraînerait le remplacement des forêts par des monocultures ce qui, au final, n'est pas mieux pour l'environnement. Ces aspects ont été analysés dans la section « impacts environnementaux ».

G. Pistes de recommandations

Dans les applications emballages films et sacs, les deux principaux freins techniques à l'utilisation des biopolymères sont liés à leur résistance mécanique (polymère à base d'amidon), leur rigidité (PLA) et leur résistance thermique (PLA). Etant donné que les produits du secteur emballage ont une faible valeur ajoutée, le coût est un frein supplémentaire. Les priorités de recherches sont donc les suivantes :

1. Amélioration des propriétés

- Propriétés des polymères à base d'amidon

* La mise en oeuvre de copolymères et des composites/nanocomposites

* La modification de la structure de l'amidon augmenterait la résistance à l'eau et améliorerait les propriétés mécaniques.

- Propriétés des polymères PLA

*Amélioration de la propriété mécanique et la résistance à la température par copolymérisation

*Par ajout de charge/nanocharge (composite/nanocomposites)

*Par additivation ou modification chimique

*Plastification

2. Diminution des coûts de production par

* Utilisation des sous-produits agricoles bon marché pour extraire les matières premières (déchets lignocellulosiques comme la paille par exemple)

*Recherche de nouvelles souches utilisatrices des sous-produits agricoles pour la production des intermédiaires chimiques nécessaires pour la synthèse des polymères

* Exploitation du concept de bio-raffineries en valorisant les sous-produits et les déchets de production pour produire d'autres molécules valorisables (par fermentation, notamment) afin d'augmenter les valeurs ajoutées des produits

3. Leviers légaux

- Renforcement des R&D afin d'améliorer la qualité des bioproducts, de faciliter l'intégration de matières premières renouvelables dans les formulations actuelles. Des financements extérieurs aux entreprises ou des programmes d'aides comme il en existe déjà au niveau européen pourraient participer au financement nécessaire.

- Création d'une chaîne de compostage permettant de traiter les déchets biodégradables.

- Campagne de sensibilisation afin d'étendre le phénomène de labellisation et de sensibiliser le consommateur

- Diminution des prix grâce à une modification de la législation notamment dans le domaine des écotaxes.

Tableau 9 : Freins et leviers au développement des biopolymères

POLYMERES	Freins	Leviers
Matières premières	Hétérogénéité des matières premières (amidon par exemple) Problématique des OGM	Elaboration de cahier de charges précises pour les matières premières Démontrer l'innocuité des produits notamment pour les applications non alimentaires
Procédés de production	Rendement de production parfois faible, coût élevé Production de sous-produits	Limiter les étapes de purification et améliorer le rendement (outil ACV pour déterminer les étapes limitantes) Amélioration des paramètres de synthèses Valorisation des sous-produits (concept de bio-raffinerie)
Performance des produits finis	Performances techniques insuffisantes pour certaines applications Résistance thermique faible Tenue mécanique insuffisante Hygroscopicité	R&D dans ce domaine : Mise en œuvre de nanocomposites, composites (fibres végétales) Copolymérisation (avec d'autres polymères biodégradables) Modification chimique (par exemple hydroxypropylation) Additivation Modification des paramètres de synthèses
Applications	Limitées dans certaines applications	Plutôt cibler les applications Applications qui augmentent la valeur ajoutée des produits finis due aux propriétés particulières des biopolymères
Aspect marché	- Prix élevés -Marché limité -Coût élevé de la R&D -Situation de quasi monopole	- Stimulation de la R&D, solutions de type légal -Applications ciblées pour les produits à base de matières premières renouvelables -Mise en avant des propriétés avantageuses des biopolymères -Financement par des programmes d'aide -Ouverture du marché via des facilités à l'investissement, des exonérations...
	Prix élevés	Suppression des écotaxes
Aspect utilisation	Consommateur pas prêt à payer plus cher	-Sensibilisation et éducation du consommateur
Aspect environnemental	Absence d'une chaîne de traitement des déchets	-Valorisation des propriétés de biodégradation via la création d'une chaîne de compostage -Education du consommateur au tri -Développement de la labellisation

2.3. Utilisation des produits finis par les consommateurs

Le consommateur occupe une place clé dans le développement du marché du renouvelable selon les industriels que nous avons rencontrés. Cette section évalue son rôle et son influence dans la chaîne d'approvisionnement.

2.3.1. Méthodologie

Le volet consommation été abordé à travers une étude réalisée au niveau national. Des enquêtes téléphoniques ont été menées durant les mois de juillet et d'août 2005. Un échantillon de 504 répondants a été contacté afin de participer au sondage. L'échantillon a été tiré aléatoirement dans les annuaires de téléphone belge. La répartition s'est faite en fonction du nombre d'habitants par province et par région (données INS). Ainsi 165 wallons, 295 néerlandophones et 44 bruxellois ont été interrogés. Un questionnaire structuré, préalablement prétesté, a été proposé à la personne responsable des achats, dans les ménages. Des questions au sujet de ses comportements, intentions, connaissances et caractéristiques démographiques lui ont été adressées. La majorité des questions étaient à choix multiple, le répondant devant choisir une réponse parmi une série de propositions prédéfinies. Un exemplaire du questionnaire est disponible à l'**Annexe 6A**.

Ce type de sondage présente plusieurs avantages. Tout d'abord, le questionnaire est facile à gérer, les données sont fiables car les réponses sont limitées aux propositions énumérées et la variabilité des résultats due aux différences entre les enquêteurs est fortement réduite. De plus, le sondage téléphonique en particulier permet d'obtenir un maximum d'informations en peu de temps et à faible coût.

L'inconvénient principal réside dans le fait que les répondants peuvent être incapables ou qu'ils peuvent refuser de fournir les informations souhaitées.

Dans les cas des enquêtes téléphoniques, le taux de refus est assez important. Cependant, la période choisie permettait de contacter plus facilement des personnes qui sont habituellement sur leur lieu de travail en journée. De plus, en cette période de vacances, les informants ont plus de temps et moins de contraintes ce qui les rend plus réceptifs à ce type d'enquête.

Malgré ces éléments positifs, il s'est avéré que les informants plus âgés étaient plus enclins à répondre. Cette constatation n'a pas entaché nos résultats car selon Diamantopoulos A et al. (2003), l'âge ne semble pas jouer un grand rôle en matière de comportement « environnemental ». Ils ajoutent que les femmes se sentent plus concernées par la qualité de l'environnement et montrent plus fréquemment une série de comportements dits « verts ». Par contre, on n'observe pas de différence de comportement entre les gens mariés et les célibataires en matière de connaissance, d'attitude et de comportement. Finalement il semblerait que ce sont plus les caractéristiques de situation (par exemple, le fait d'habiter dans une zone plus polluée) qui seraient à l'origine d'une conscience environnementale que les caractéristiques sociodémographiques.

Plusieurs thèmes ont été abordés lors des enquêtes. Tout d'abord le degré de connaissance des répondants en matière de produits naturels, de labellisation et de composition de produit. Le comportement de tri des déchets a aussi été traité. Ces aspects nous ont permis de mieux définir le comportement « environnemental » du consommateur. Ensuite, les cas des tensioactifs et des polymères ont été étudiés via les applications choisies, les shampoings, détergents et sacs. Les critères de choix des informants, leurs intentions d'achats et leurs perceptions ont également été analysés.

2.3.2. Le degré de connaissance

La majorité des entreprises rencontrées dans le cadre de cette analyse s'accorde sur la nécessité d'une impulsion venant du secteur de la consommation. Selon elles, une demande du consommateur est nécessaire afin que le marché des matières premières renouvelables se développe. Avant d'explorer cette piste, il est essentiel d'évaluer le degré de connaissance des consommateurs en la matière. Selon nous, le consommateur fait face à un manque de connaissance en ce qui concerne les produits naturels. Ces lacunes ne lui permettent pas d'initier le levier nécessaire à l'expansion du marché.

L'évaluation du degré de connaissance du consommateur a été réalisée via plusieurs canaux. La définition du terme « produits naturels » a tout d'abord été explorée. Ensuite, la problématique des labels soulevée par le secteur industriel a été abordée. Enfin, la composition des sacs plastiques a été traitée.

A. La définition des produits naturels

Afin de connaître la définition que les répondants accordent aux produits naturels, nous les avons amenés à énumérer les catégories de produits qui leur venaient à l'esprit lorsqu'ils pensaient aux produits naturels.

Notre étude montre que le consommateur associe souvent les produits naturels aux produits alimentaires et plus particulièrement aux fruits et légumes (cités par 35,55% des intervenants). Notons que les savons et détergents sont les premiers produits non alimentaires à être considérés comme des produits naturels. Les cosmétiques et les shampoings sont également envisagés mais dans une moindre mesure.

La **Figure 6** expose l'occurrence des réponses citées par les informants.

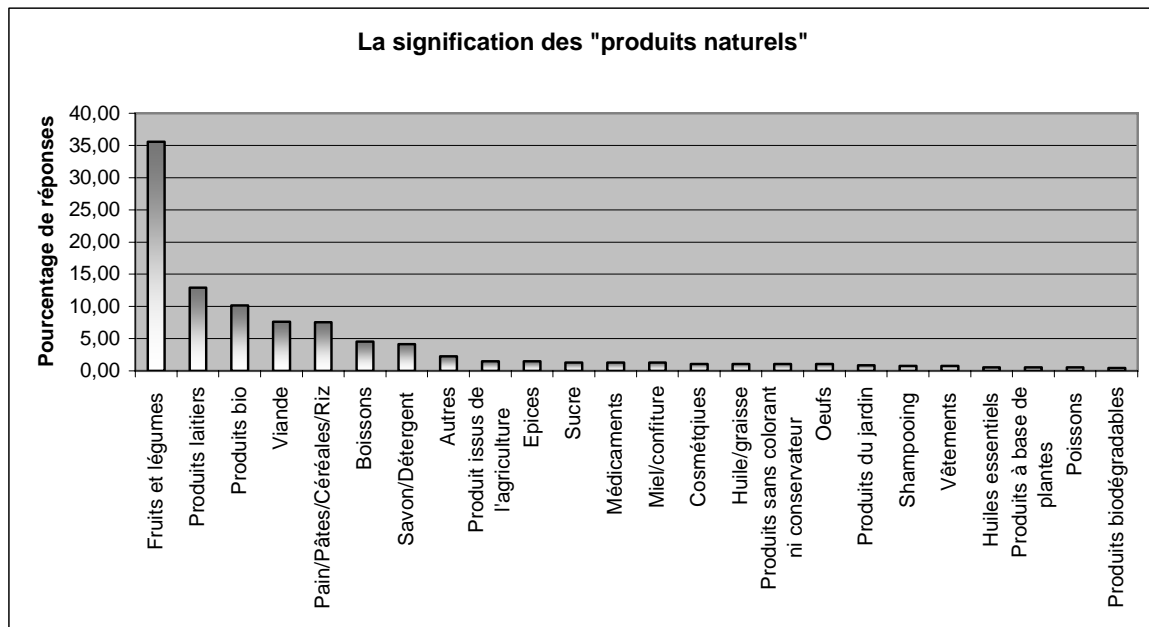


Figure 6 : Définition des « produits naturels »

Tableau 10: Définition des produits naturels

Catégories de produit	Pourcentages
Fruits et légumes	35,6
Produits laitiers	12,9
Produits bios	10,2
Viande	7,6
Pain/Pâtes/Céréales/Riz	7,5
Boissons	4,5
Savon/Détergent	4,1
Autres	2,2
Produits issus de l'agriculture	1,5
Epices	1,5
Sucre	1,3
Médicaments	1,3
Miel/confiture	1,3
Cosmétiques	1,1
Huile/graisse	1,1
Produits sans colorant ni conservateur	1,1
Œufs	1,1
Produits du jardin	0,8
Shampooing	0,7
Vêtements	0,7
Huiles essentielles	0,5
Produits à base de plantes	0,5
Poissons	0,5
Produits biodégradables	0,4

B. La connaissance des labels

La multitude des labels et le manque de clarté dans ce domaine sont des problématiques soulevées par les industriels. Selon eux, la plupart des consommateurs sont peu réceptifs à la présence d'un label car ils n'en connaissent pas la signification. Afin de vérifier cette affirmation, nous avons demandé aux ménages s'ils avaient déjà entendu parler d'écolabels. 62.4% d'entre eux l'ont affirmé. Cependant, il est clair qu'il y a une méconnaissance de la part des ménages en ce qui concerne les critères remplis par les produits détenant un écolabel. En effet, 26.6% des répondants pensent que le prix du produit est imposé par le gouvernement et 9.3% sont persuadés que ça indique que le produit est bon marché.

Le rôle des labels n'est pourtant pas négligeable dans l'expansion de l'utilisation de matières premières renouvelables. En effet, les labels permettraient de lancer un appel clair au consommateur. D'ailleurs, 92.6% des informants considèrent qu'il est important qu'un produit naturel soit reconnaissable grâce à un écolabel.

Cette problématique est donc à traiter en priorité. Il existe bien un intérêt de la part du consommateur. L'apposition d'un label pourrait être un signe clair que le produit est bien à base de matières premières renouvelables. De plus dans le cas des biopolymères, une labellisation associée à des campagnes d'informations éduquerait le consommateur à un tri efficace. Ce genre de sensibilisation a déjà fait ses preuves lors du lancement des sacs poubelles réservés aux P.M.C.

Grâce à la mise au point d'un système de tri efficace, une chaîne de traitement des déchets biodégradables pourrait être mise en place et une détaxation de ces derniers pourrait enfin être envisagée ce qui engendrerait une réduction des prix.

C. La composition des polymères

Actuellement, la majorité des polymères est réalisée à base de ressources fossiles donc pétrolières. Cette information est connue par 52.2 % du public interrogé. Sans surprise seuls 26.6% des informants savent qu'actuellement, certains polymères sont fait à base de ressources renouvelables. Par contre 91.9% s'accordent pour dire que c'est une bonne initiative. A nouveau le manque d'engouement des consommateurs observé par les industriels vient probablement du manque de connaissance. La mise en place de campagnes de sensibilisation et d'information des consommateurs permettrait une prise de conscience du grand public.

Ces résultats montrent une méconnaissance des consommateurs en matière de labellisation et de composition. Néanmoins, il existe des perspectives intéressantes car les consommateurs montrent un intérêt pour les écolabels.

2.3.3. Tri des déchets

La sensibilisation de la population au tri des déchets est nécessaire pour le développement des biopolymères. En effet, si ces derniers doivent être identifiables aux yeux du consommateur, il faut également que l'utilisateur prenne le temps de trier efficacement ses déchets.

Selon la FEDIS (la fédération belge des entreprises de distribution) le consommateur belge est le meilleur trieuseur de déchets de l'Europe. D'ailleurs selon une étude réalisée par le CRIOC (Brouyaux et *al.*, 2003), quatre Wallons sur dix déclarent que pour produire moins de déchets, il faut d'abord les trier. Même si une confusion apparaît chez le consommateur entre limiter la production et gérer la surproduction, on remarque une sensibilité à cette problématique. Notre étude a permis d'étendre l'analyse à l'ensemble de la population belge.

Il s'avère que le tri est bien accepté et réalisé au sein de la population belge puisque 74% des Belges trient l'ensemble de leurs déchets (PMC, papiers, verres et déchets de jardin). Pour 19.4% de la population interrogée, le tri n'englobe pas les déchets de jardin. Ce pourcentage s'explique principalement par l'absence de jardin pour les personnes concernées. Seuls 2.8% des répondants ne trient aucun de leurs déchets.

L'étude réalisée par le CRIOC montre que les principales raisons du non-tri (des Wallons) étaient le manque d'espace (45% des cas) et le manque de temps (20% des cas). Ensuite apparaissait la difficulté ou la présence d'odeurs.

Selon l'étude que nous avons menée, c'est le manque d'envie qui est la principale raison (30.5%) du non-tri (des Belges). D'autres motivations ont également été avancées : le fait que cela prend du temps (15.4%), l'inutilité du tri, l'absence d'obligation et de contrainte (7.7%), la quantité trop importante (7.7%) ou négligeable de déchets (7.7%).

Derrière le comportement de tri affiché par les répondants se cachent plusieurs motivations. Ainsi 64.8% des informants sélectionnent leurs déchets pour préserver l'environnement. 33.5% des intervenants interrogés disent trier par obligation, 16% le font par habitude, quand 9.8% trouvent que ça leur permet de faire des économies. Ces motivations sont proches de celles proposées par l'étude réalisée par le CRIOC en 2003. Seul le facteur habitude apparaissant de nos résultats ne faisait pas partie des critères avancés par l'étude du CRIOC.

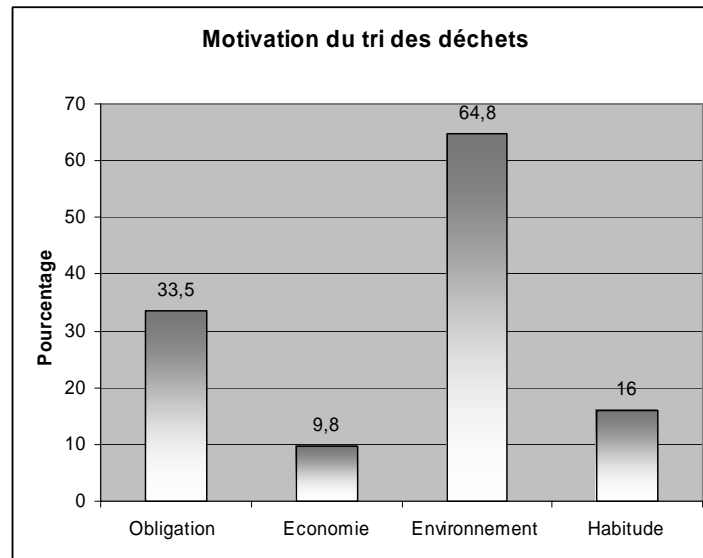


Figure 7: Raisons motivant le tri des déchets

Ces résultats indiquent que la diffusion de campagnes de sensibilisation associées à l'obligation de trier (en 2003, le tri était obligatoire dans 73% des communes wallonnes) portent leurs fruits. Ils montrent également qu'écologie et économie vont souvent de paire, le consommateur accepte d'être attentif à l'environnement s'il y gagne financièrement. Etant donné que le Belge trie ses déchets et est sensibilisé à la problématique environnementale, il est donc envisageable à court terme d'intégrer dans le tri les plastiques biodégradables et donc de créer des chaînes de traitement des déchets adaptées.

2.3.4. Les tensioactifs

Pour ce projet, nous avons décidé de nous concentrer sur les tensioactifs et plus particulièrement sur le cas des shampoings et des produits de vaisselle à la main. Des questions précises concernant ces deux catégories de produits ont donc été posées aux informants afin d'étudier les critères de choix pour ces biens et les intentions d'achats pour des produits à base de matières naturelles. La prise en compte de la composition du produit est également un élément qui a été approfondi. En effet, pour sensibiliser le consommateur aux ressources naturelles, il est indispensable qu'il connaisse le contenu du produit et s'intéresse.

A. Les shampoings

Les critères de choix des shampoings sont nombreux. Le consommateur tient le plus souvent compte de son type de cheveux (18%). La marque joue également un rôle essentiel (11%) mais les habitudes restent sacrées (11%). Le respect de la peau et des cheveux (9%) surpasse le prix (7%) qui se situe en cinquième position.

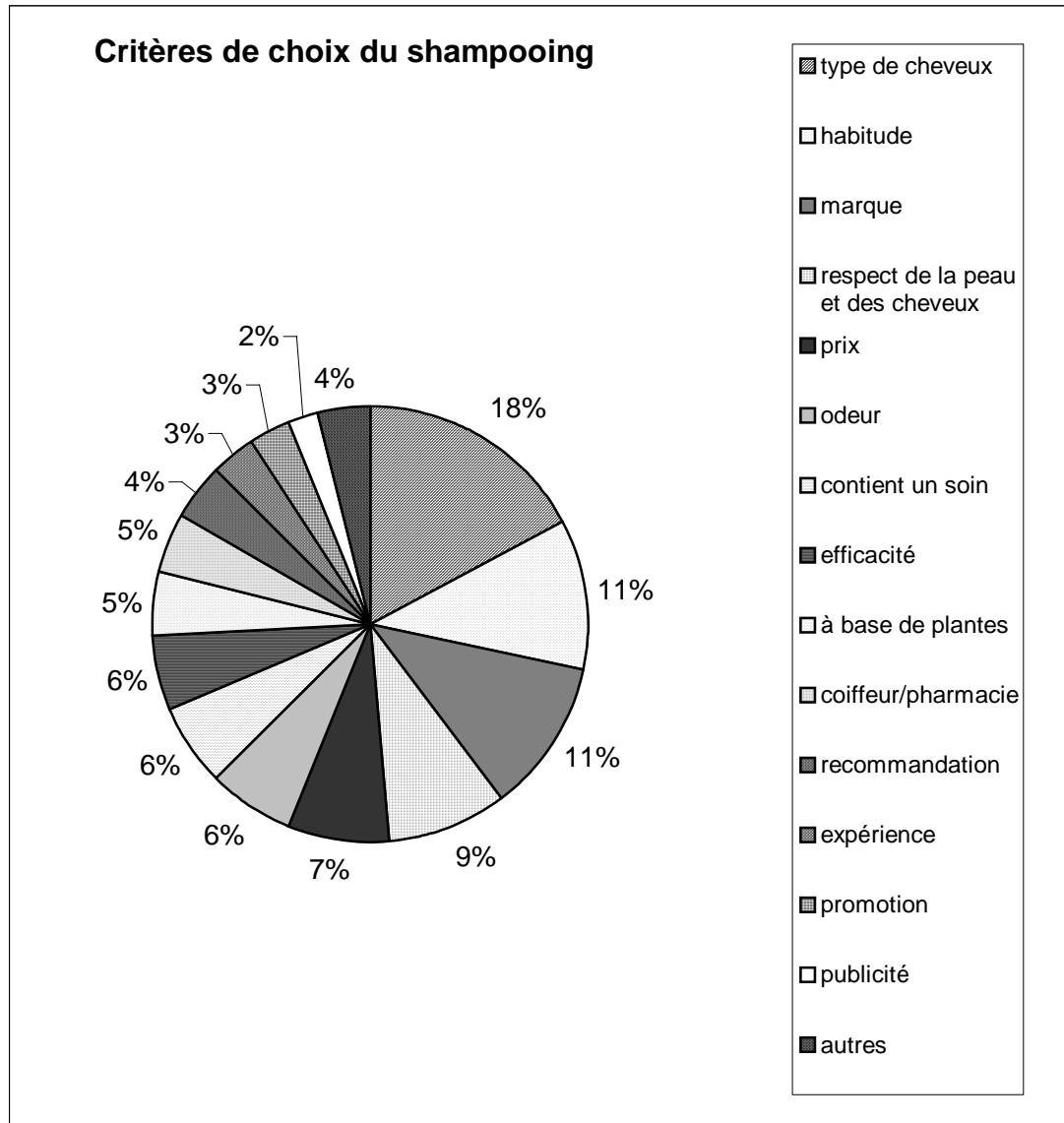


Figure 8 : Critères de choix du shampooing

Les shampooings ont été sélectionnés comme application dans cette étude pour leur valeur ajoutée. Notre hypothèse de départ était que les shampooings pouvaient supporter une augmentation du prix de la matière première, le prix n'étant pas l'un des critères déterminant dans le choix du consommateur. Notre enquête de consommation montre que le prix reste un critère de choix important bien que d'autres critères ayant plus de poids interviennent. Il s'agit des caractéristiques personnelles (type de cheveux) et de bien-être (respect de la peau et des cheveux). Ces constatations ouvrent des opportunités au marché des tensioactifs à base de matières premières renouvelables qui offrent justement certaines de ces caractéristiques grâce à leurs propriétés intrinsèques. De plus, les différences de prix n'étant pas significatives entre certains tensioactifs d'origine végétale et ceux d'origine fossile, le prix des tensioactifs ne devrait pas toujours créer un frein à l'expansion de ces matières.

Lors de notre étude nous avons aussi exploré l'intérêt du consommateur pour la composition des produits qu'il achète. Il s'avère que seuls 28.7% des informants lisent l'étiquette des shampooings afin d'en connaître la composition. Il est très probable que

la plupart de ces personnes n'est pas capable de décoder les informations de composition ni de faire la distinction entre les extraits et les tensioactifs naturels. Pourtant il est indispensable que le consommateur soit sensibilisé au contenu de son shampoing si on souhaite développer l'utilisation de tensioactifs à base de matières premières renouvelables. La mise en avant des aspects naturels du produit pourraient aider le consommateur à y voir plus clair et à poser un choix en connaissance de cause. Il est donc important de travailler sur un étiquetage reflétant le contenu du shampoing. Actuellement le terme « naturel » est utilisé indépendamment de la formulation effective du produit. Des dispositions légales plus strictes en matière d'étiquetage devraient permettre de combler ces lacunes.

Lors des enquêtes, nous avons également testé les intentions d'achats des informants pour un shampoing fait exclusivement à base de matières naturelles. Nous avons noté un intérêt certain pour ce type de produit. En effet, près de la moitié des informants se disent tentés par un shampoing entièrement naturel.

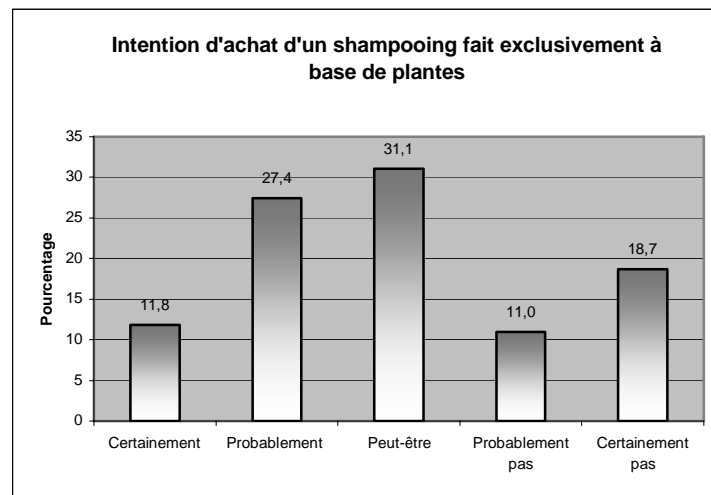


Figure 9 : Evaluation des intentions d'achat pour un shampoing exclusivement à base de plantes

Les intentions d'achat ont été réévaluées en supposant une augmentation de prix de l'ordre de 5%. Cela nous a permis de tester une nouvelle fois l'importance du prix. Il s'avère que cette différence de prix ne joue pas un rôle important dans le choix du consommateur pour un produit à base de plantes. Les pourcentages des intentions d'achat restent sensiblement identiques.

Ces observations sur le comportement d'achat du consommateur montrent qu'il existe un marché pour les tensioactifs fabriqués à base de matières premières renouvelables dans le secteur du shampoing. En effet, les intentions d'achat des consommateurs sont indépendantes d'une faible augmentation du prix final. De plus, les tensioactifs d'origine renouvelable présentent des propriétés avantageuses comme un plus grand respect de la peau. Ce critère est important dans le choix du consommateur. Il est donc envisageable qu'une nouvelle gamme de shampoings offrant des produits adaptés aux différents types de cheveux et mettant en avant le respect de la peau, aurait un potentiel d'achat intéressant. Il ne faut cependant pas négliger le facteur habitude et le choix d'une marque bien précise qui sont deux critères de choix déterminants. Ces deux éléments viennent freiner un engouement potentiel pour un nouveau shampoing fait exclusivement à base de plantes. Ils impliquent également une implication dans grandes

marques dans ce changement. Si les marques appréciées par le consommateur, proposent des produits alternatifs, le consommateur les suivra.

B. Les détergents

La deuxième application sur laquelle nous avons décidé de travailler est le secteur de la détergence et plus particulièrement les produits de vaisselle à la main.

Les critères de choix des détergents sont variés. L'habitude (20%) est le critère le plus important pour le choix des détergents. Le consommateur ne passe pas beaucoup de temps à sélectionner son produit. Cette hypothèse est confirmée par le second critère le plus important : la marque (17%). Le consommateur ayant trouvé une marque qui lui convient est réticent au changement.

L'efficacité (15%) est aussi prise en compte par le consommateur lors du choix de son détergent.

Les détergents sont des produits à faible valeur ajoutée pour lesquels le prix de vente a de l'importance (10%). Comme pour les shampoings, le respect de la peau est considéré par les informants lors du choix de leur produit.

Par contre, on observe une différence importante par rapport au comportement de choix pour les shampoings. En effet la sensibilité à l'environnement (5%) semble plus marquée pour les détergents. L'aspect biologique est également pris en compte (4%). Ces deux critères ne sont pas les plus importants mais soulignent l'intérêt du consommateur pour ce type de problématique. L'impact des détergents sur l'environnement semble donc être plus visible que celui des shampoings. Pourtant seuls 16.6% des répondants lisent l'étiquette des produits vaisselle pour s'informer de leur composition. A nouveau la question de la présence d'un écolabel et de sa visibilité se pose. En effet, 2% des personnes interrogées sélectionnent leurs produits sur base de la présence ou non d'un écolabel.

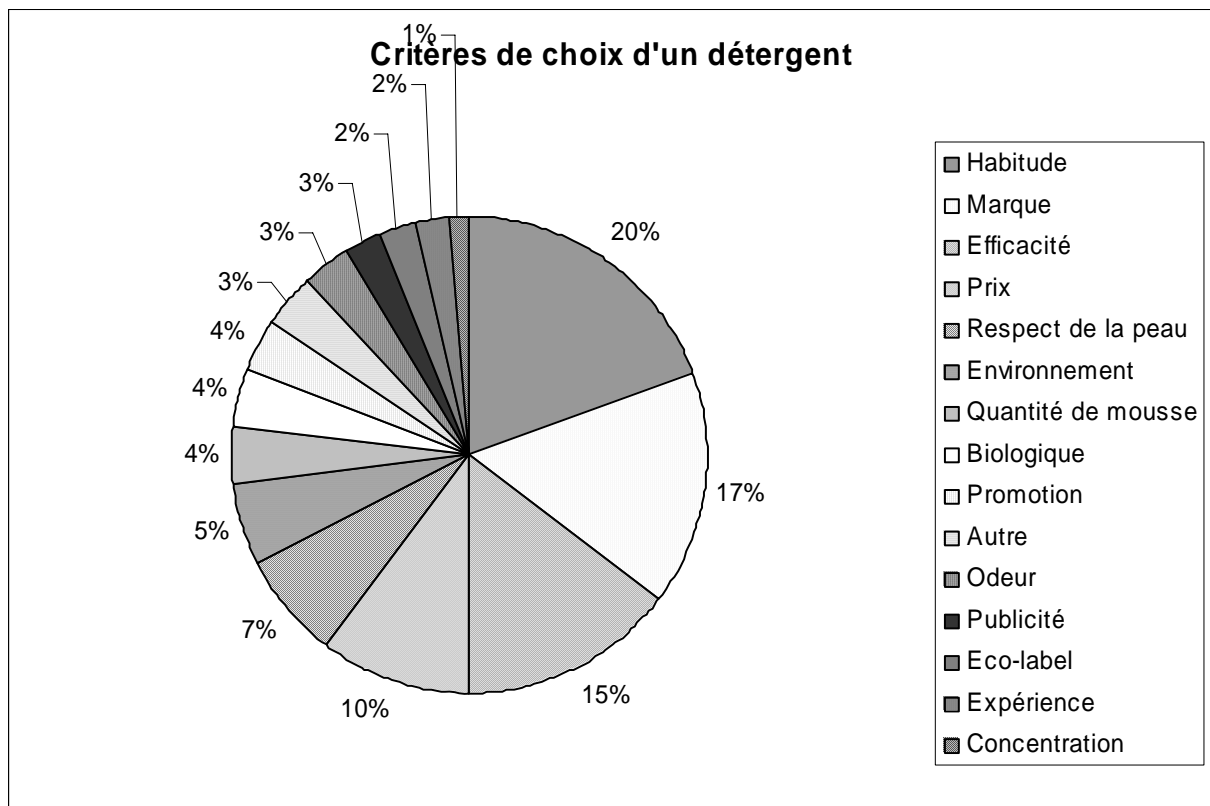


Figure 10: Critères de choix d'un détergent

Lors de cette étude, nous avons également évalué le degré de connaissance des consommateurs en matière de détergents à base de tensioactifs d'origine renouvelable. Pour ce faire, les avantages et inconvénients des détergents biologiques perçus par le consommateur ont été étudiés.

Notre enquête montre que 96.2% des informants perçoivent les détergents biologiques comme plus respectueux de l'environnement que les détergents classiques. 85.2% d'entre eux supposent qu'ils sont à base de plantes. Ils pensent également que les produits naturels sont meilleurs pour la peau et la respectent plus que leurs équivalents classiques.

Par contre, les inconvénients liés à ces produits biologiques sont tout d'abord le prix (pour 85.7% des répondants), le manque de disponibilité dans les magasins (77.6%) et aussi l'efficacité. En effet, 40% des informants considèrent que la qualité des détergents biologiques est moindre que celles des détergents classiques.

Cette perception des détergents biologiques a été soulignée lors d'une étude que nous avons réalisée pour les départements du CRA-W, le Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux (étude complète disponible à l'**Annexe 7A**). Lors de cette analyse, des tests à l'aveugle ont été réalisés au près du personnel d'entretien. Il s'agissait de lui faire tester des détergents biologiques et classiques afin de déterminer sur base de plusieurs critères (efficacité sur les taches de graisse, odeur, ...), le produit préféré. Au départ de cette étude, nous avons observé de nombreux a priori négatifs sur les détergents biologiques. Les principaux préjugés étaient le manque d'efficacité et la mauvaise odeur. Mais après utilisation à l'aveugle, nous avons noté un changement radical d'opinion. Les membres du personnel d'entretien ont testé et coté cinq détergents (trois biologiques, deux classiques). Il s'est avéré que les personnes interrogées ont accordé le score le plus important à l'un des détergents biologiques. Cependant la différence n'était pas significative par rapport aux autres produits. Il est plus pertinent de conclure que les produits sont équivalents. Dans la pratique, il est clair que la faible efficacité des détergents biologiques n'est pas prouvée. Pourtant les consommateurs en sont persuadés. Pour que le marché du détergent biologique émerge, il est donc nécessaire de briser les préjugés existants sur ces produits, notamment en termes d'efficacité et d'odeur.

Suite à cette analyse de perception, nous avons réalisé une étude de notoriété. Les produits de vaisselle à la main à base de matières premières renouvelables étant déjà bien présents sur le marché, nous avons testé la connaissance des consommateurs dans ce domaine. Lors des étapes initiales de cette recherche, nous avons effectué un relevé systématique des détergents présents sur le marché belge. Parmi ceux-ci se trouvaient quatre produits de vaisselle à la main : Ecover, Froggy, Biotop et Klokéco.

Nous avons évalué le degré de connaissance et le taux d'utilisation de ces produits. Il s'avère qu'Ecover est le détergent biologique le plus connu et le plus utilisé. En effet, 55.8% des répondants ont déjà entendu parler d'Ecover, parmi ceux-ci, 53.8% l'ont déjà utilisé. 62% des intervenants ont déjà entendu parler de Froggy, parmi ceux-ci 57.5% en ont déjà acheté. 21.5% des consommateurs interrogés ont déjà entendu parler de Biotop et 8% l'ont déjà testé. 6.7% ont entendu parler de Klokéco et 2% ont déjà eu recours à ce produit.

Lors d'une telle évaluation assistée de la notoriété du produit, le pourcentage permettant d'affirmer que le produit est bien connu du consommateur est de plus ou moins 90%. Notre étude montre que les détergents biologiques sont peu connus. Cette méconnaissance peut sans doute s'expliquer en partie par le manque de promotion portant sur ces produits ainsi que par leur mauvaise situation dans le rayonnage des

magasins. Le consommateur n'a donc pas souvent l'opportunité d'être attiré par ces types de produits.

2.3.5. Les sacs plastiques

Le comportement du consommateur vis-à-vis des sacs plastiques initie la compréhension de la sensibilité des informants aux problématiques environnementales. C'est pourquoi les habitudes comportementales des informants ont été étudiées. S'il est actuellement impensable de vouloir remplacer les sacs sortie de caisse par des sacs biodégradables, il existe d'autres alternatives. Les sacs réutilisables en sont une. Dès lors que ces sacs sont réutilisés au moins 4 fois, ils deviennent plus respectueux de l'environnement que les sacs à usage unique, même si leurs matières premières sont identiques, conclut une étude de Broutayx et *al.* (CRIOC, 2003). L'alternative des sacs en papier pourrait également être envisagée mais une étude de l'Ademe a montré que les sacs en papier sont encore plus polluants que les sacs en plastique car, pour fabriquer les sacs en papier, une plus grande quantité d'eau est nécessaire et un rejet supplémentaire de 90% de gaz à effet de serre et d'acide est observé. Actuellement la solution la plus favorable à l'environnement semble donc de remplacer les sacs à usage unique par des sacs réutilisables, les films et sacs biodégradables sont alors réservés à des applications plus spécifiques qui maximisent leurs avantages.

Une étude réalisée par le CRIOC (Piazza, 2004) montrait que 71% de la population belge utilisent encore des sacs plastiques classiques à usage unique. Selon le CRIOC, la mise en place de mesures gouvernementales contraignant le consommateur semble être la meilleure solution. L'exemple du groupe Ikéa a été cité car lorsqu'il a rendu les sacs sortie de caisse payant, leur utilisation s'est réduite de 75%.

En un peu plus d'un an, la situation belge a évolué. En effet, plusieurs distributeurs ont supprimé les sacs à usage unique aux caisses. Cette démarche, bien qu'elle les intéresse financièrement, œuvre aussi pour l'environnement.

Lors de leurs achats, les répondants ont maintenant souvent le choix entre plusieurs alternatives : les sacs jetables, les sacs réutilisables, ou ne pas utiliser de sac.

L'utilisation des sacs réutilisables semble petit à petit se répandre car 29.7% des répondants les utilisent exclusivement. Alors que 22.8% des informants consomment uniquement des sacs jetables et 24.6% ont recours à la fois aux sacs jetables et aux sacs réutilisables. Il est également intéressant de noter que 23% des personnes interrogées n'utilisent aucun type de sac et se tournent donc vers d'autres alternatives comme les bacs ou les caisses. Cette démarche environnementale ne vient pas toujours d'un choix mais bien de l'absence d'alternative proposée par le distributeur (10.4%).

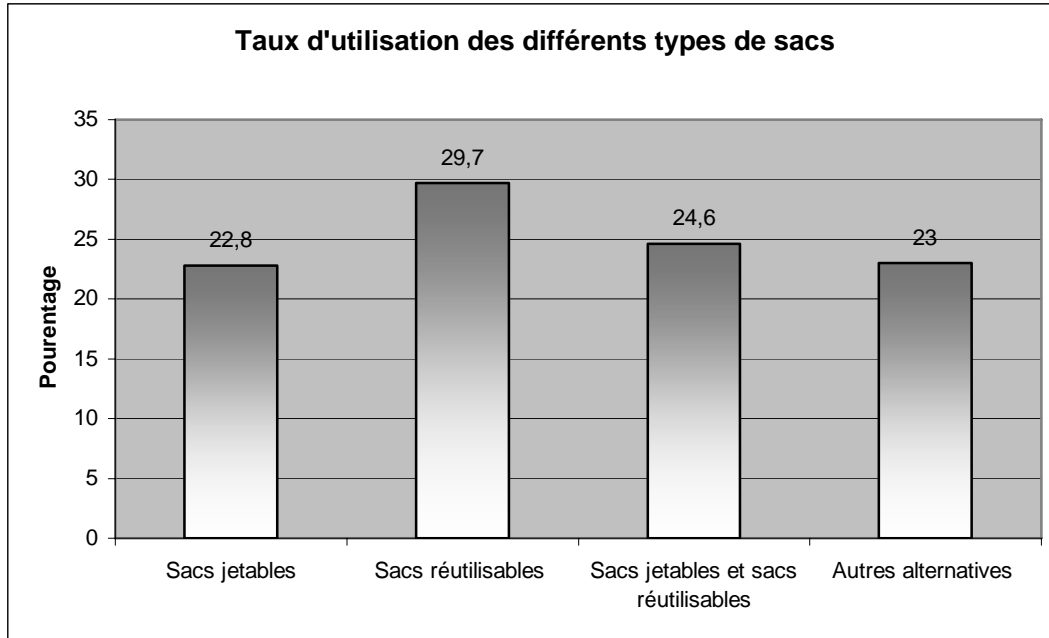


Figure 11: Utilisation de sacs

On observe donc une diminution très importante de l'utilisation des sacs jetables en un peu plus d'un an. Il est probable que la suppression de la distribution automatique de sacs aux caisses a permis de réduire le nombre de sacs utilisés. Cette situation a aussi permis une plus grande conscientisation des consommateurs.

Les répondants qui prennent toujours des sacs jetables avancent plusieurs motivations à ce choix. La majorité (46%) des informants les utilise car ils sont disponibles à la caisse. 21% y ont recours parce que c'est pratique. 14% des répondants les utilisent uniquement lorsqu'ils ont oublié leurs sacs réutilisables.

Notre étude montre que la facilité est le facteur principal poussant les consommateurs à utiliser des sacs jetables.

Une autre hypothèse serait que le consommateur n'est pas peut-être pas assez informé des alternatives qui existent sur le marché. Cependant plusieurs études réalisées par le CRIOC (e.a. Piazza M., 2004) démontrent que l'information n'est pas un incitant suffisant pour changer le comportement du client. Des mesures incitantes et d'autres contraignantes doivent être mises sur pied afin de pousser le consommateur à modifier sa consommation. Les résultats de l'étude du CRIOC vont dans le sens de nos conclusions en montrant que le consommateur choisit la solution de facilité : lorsque les sacs jetables sont proposés, il opte pour eux.

Les sacs jetables ont souvent une deuxième vie. La majorité des répondants (61.5%) les utilise comme sacs dans les petites poubelles de la maison. 7.3% les prennent pour faire d'autres courses. Seuls 12.2% les jettent.

Les consommateurs qui utilisent des sacs réutilisables sont sensibles à l'environnement puisque 43.9% d'entre eux les utilisent en y pensant. Mais la motivation principale derrière ce comportement est l'aspect pratique vu que plus de la moitié des personnes concernées (51.3%) s'y réfère et plus d'un cinquième les trouve plus résistants que les sacs à usage unique.

Il est toutefois intéressant de noter que ces sacs réutilisables sont dans 7.1% des cas utilisés à défaut d'alternatives. Il est assez étonnant de noter que les répondants les utilisent aussi parfois comme sacs poubelles (pour 4.1% d'entre eux).

Ces résultats mettent en avant une conscientisation accrue pour l'environnement qui influence le consommateur dans ses choix. Il est donc tout à fait envisageable d'imaginer une adhésion des consommateurs aux biopolymères.

Les industriels que nous avons rencontrés avancent souvent que sans une demande du consommateur, il y aura peu d'évolution. Cependant, notre étude montre que le consommateur n'a pas un rôle d'initiateur, il suit plutôt les propositions qui lui sont faites. Nos résultats mettent en exergue un autre acteur au rôle clé : le secteur de la distribution. Ce dernier choisit le positionnement des produits dans le rayonnage, réalise de campagnes promotionnelles, prend des initiatives afin de supprimer les sacs à usage unique...

Nos analyses soulignent également la nécessité de prendre des mesures contraignantes obligeant les consommateurs à modifier leur comportement. Sans une nécessaire impulsion, le consommateur ne changera pas facilement son comportement.

2.3.6. Pistes de recommandations

- Création d'une législation en matière d'étiquetage des produits finis afin d'éviter les confusions terminologiques entre les produits à base d'extraits de plantes et ceux contenant des tensioactifs d'origine renouvelable.
- Lancement de campagnes de sensibilisation à destination des consommateurs afin qu'ils prennent conscience de l'existence de produits à base de matières premières renouvelables, des avantages de ces derniers et des impacts positifs qu'ils ont sur l'environnement.
- Sensibilisation à la reconnaissance des différents labels pour un tri de déchets efficace
- Elaboration de mesures contraignantes motivant le consommateur à adapter son comportement d'achat

Tableau 11 : Les leviers et les freins pour le secteur de la consommation

Freins	Leviers
Méconnaissance : <ul style="list-style-type: none"> - en matière de labellisation - en matière de composition des T.A. et des polymères 	-Mise en place de campagnes d'information et de sensibilisation -Adaptation de la législation en matière d'étiquetage
Absence de sensibilisation à l'environnement en matière de T.A.	-Implication des distributeurs dans « l'éducation » du consommateur -Campagnes de sensibilisation

2.4. Fin de vie des bio-produits et impacts environnementaux

La dernière étape dans le cycle de vie d'un produit est sa fin de vie après utilisation par le consommateur. Ce chapitre est consacré à l'analyse des impacts environnementaux d'une utilisation à grande échelle des tensioactifs et polymères d'origine renouvelable

en s'intéressant à leur biodégradation (tensioactifs) et leurs déchets (polymères). L'ACV a été évaluée comme outil d'estimation des impacts environnementaux des produits. La question de disponibilité des matières premières est abordée par une évaluation des surfaces agricoles belges pour assurer le remplacement des matières premières fossiles. Les impacts environnementaux que le remplacement entraînent ont été évalués.

2.4.1. Biodégradation des tensioactifs

L'évaluation environnementale en fin de vie d'un produit chimique est basée sur deux critères qui sont la biodégradabilité et l'écotoxicité.

A. La biodégradation

Définition de la biodégradation des agents de surfaces selon le journal officiel de l'Union Européenne 08/04/04

La biodégradation primaire est un changement structurel (transformation) d'un agent de surface par des microorganismes avec pour résultat la perte de ses propriétés tensioactives en raison de la dégradation de la substance génératrice et de la perte par voie de conséquence de la propriété tensioactive.

La biodégradation finale en aérobiose est le niveau de biodégradation obtenu quand l'agent de surface est totalement dégradé par les microorganismes en présence d'oxygène avec pour résultat sa décomposition en dioxyde de carbone, en eau et en sels minéraux (minéralisation) et en biomasse microbiennne, mesurée par les méthodes d'essai. Les normes et tests de biodégradation sont détaillés en **Annexe 8A et 9A**.

B. L'écotoxicité

Il s'agit d'une évaluation de la toxicité des composés vis à vis des organismes vivants dans l'environnement aquatique. Les tests d'évaluation se font sur différents organismes de la chaîne alimentaire aquatique: les algues pour les plantes inférieures, les daphnies et les planctons puis les poissons et enfin les bactéries. On détermine les concentrations minimales létales qui provoquent 100% d'effet (LC100) ou 50% d'effet (LC50). Et chez les bactéries, on les détermine par les concentrations qui provoquent des effets comme par exemple arrêt de croissance ou immobilisation chez les 50% (EC50) de la population bactérienne au départ.

C. La bioaccumulation

La bioaccumulation des tensioactifs et également un critère d'évaluation des effets environnementaux des tensioactifs. On évalue l'absorption par l'organisme des substances tensioactives par exemple par traçage au ¹⁴C et ³⁵S.

Les voies de biodégradation des tensioactifs sélectionnés sont présentées en **Annexe 10A**.

La comparaison des impacts environnementaux des différents tensioactifs est présentée dans le **Tableau 12**.

Tableau 12 : Comparaison des impacts environnementaux des tensioactifs

	LAS	AES	APG	AG	AE
Présence dans l'environnement	- Présence dans les effluents des traitements des eaux usées - Présence dans les boues - Présence dans les sédiments	Présence dans les effluents des traitements des eaux usées	Faible à la sortie des stations d'épuration (réf : remplacement des NPE : étude canadienne)	Pas de données	Présence dans l'environnement aquatique
En aérobie					
- Biodégradation primaire	Mesure par le test de confirmation : MBAS (OECD) ≥ 85%	Rapidement biodegradable par le test MBAS: 90 à 100% après 1 à 5 jours	Biodégradation primaire rapide	-	Bonne biodégradation (97 à 98% d'AE après sortie des stations d'épuration)
- Biodégradation finale	Test OECD 301 (28 jours) : 45-84%	Par OECD 301 (28 jours) : 58 à 100%	Biodégradation rapide 67 à 100% (28 j)	Par test d'évolution de CO ₂ : 86 - 89% ThCO ₂	100% DOC Les AE avec un carbone quaternaire ne sont pas biodégradables
En anaérobie					
- Biodégradation primaire	Faiblement mais possibilité d'attaque de microorganismes	64 à 70% pour MBAS	Supérieure à 60% dans les 28 jours	-	Normalement biodégradable
- Biodégradation finale		87% (10mg AES/l) après 17 j à 35°C			
Bioaccumulation	Par dosage radioactif de ¹⁴ C ou ³⁵ S Présence chez les poissons Par détermination de BCF	Rapidement éliminé dans les organismes	Pas de données	-	AE métabolisé dans les organismes aquatiques

	LAS	AES	APG	AG	AE
Ecotoxicité					
Algues	EC50 (mg/l) : 1 à 100mg/l pour les algues d'eaux douces et inf à 10mg/l pour les algues marines	EC50 (mg/l) 4 à 65mg/l	- C12 - C14 APG : 2,5 à 12 mg/l - C8 - 10 APG ≥ 20mg/l	LC50 : 2,9 à 57 mg/l	EC50= 0,05 à 50 mg/l
Daphnies	LC50 entre 1 à 10mg/l et la toxicité augmente lorsque la longueur de la chaîne alkyle augmente	EC50 (mg/l) : 1 à 50 mg/l	C12-14APG les plus toxiques C8 les moins toxiques	EC50 : 5 – 14 mg/l	EC50 : varie entre 0,1mg/l à 100mg/l
Poissons	Moins sensibles aux produits de dégradation de LAS LC50 inf à 1mg/l	LC50 : 0,39 à 450mg/l La toxicité augmente avec la longueur de la chaîne alkyle jusqu'à C16	Idem	LC50 : 2,9 à 558 mg/l	LC50= 0,4 inf LC50 inf 100mg/l pour les chaînes linéaires et de 0,25 mg/l à 40 mg/l pour les chaînes ramifiées
Microorganismes qui s'adsorbent sur le sédiment	LAS s'adsorbe sur les sédiments	-	-	-	-
Effets sur les humains	Pas d'absorption sur la peau Toxicité orale, irritation des yeux et de la peau	Absorbable par les microorganismes Mieux tolérés par la peau et les yeux que les autres tensioactifs anioniques	Faible toxicité orale et dermatologique	Faible toxicité	Adsorbé par la peau et le système gastro-intestinal
Classement du risque	Irritant (Xi) Risque phrase R38, R41 suivant CESIO	Irritant (Xi) R38 R36 (Irritant pour les yeux	Non irritant, mais irritant à grande concentration Xi : R41 ou R36	Nd	Suivant le nombre de OE Irritant (Xi) à nocif (Xn)

Madsen et *al.*, (2001) Environmental Project N° 615 CETOX

Les tensioactifs d'origine renouvelable sont biodégradables à la fois en aérobie et en anaérobie. Ceci n'est pas toujours le cas des tensioactifs d'origine pétrochimique notamment le LAS qui nécessite la présence d'oxygène pour cliver le cycle benzénique. Ce dernier montre également des toxicités plus fortes vis à vis des organismes aquatiques. Il est aussi plus irritant. Les tensioactifs d'origine végétale comme les alkylpolyglycosides ont une bonne biodégradation à la fois en conditions anaérobiques et aérobiques. Ils présentent des faibles toxicités orales et dermatologiques.

Les tests de biodégradation sont toutefois réalisés en laboratoire dans des conditions bien définies qui ne sont pas toujours rencontrées dans la réalité. Une campagne de mise en évidence des tensioactifs dans le réseau hydrographique belge a été réalisée afin de savoir s'il y reste des traces de tensioactifs ou de leurs intermédiaires de dégradation dans les eaux.

2.4.2. Campagne de dosage des tensioactifs dans les eaux

Elle a pour objectif d'estimer la qualité des eaux du système hydrographique wallon d'un point de vue de sa pollution aux détergents. Pour ce faire, une sélection de différents sites de prélèvement et un protocole d'échantillonnage précis ont été mis en place afin d'obtenir une première estimation au niveau de la wallonie.

Un premier screening des eaux est alors effectué par la mesure de la tension de surface des échantillons. Une valeur de tension de surface inférieure à 72 mN/m (valeur correspondant à celle de l'eau de ville) indique la présence d'une substance à propriétés tensioactives dans l'eau. Les sites de prélèvement ont été alors classés en fonction des valeurs de tension de surface mesurées (**Figure 11A**). La présence de substances tensioactives dans les eaux de certains sites et notamment au niveau du bassin de l'Escaut a été mise en évidence. Quelques sites sensibles sont également mis en évidence dans le bassin de la Meuse. Les bassins du Rhin et de la Seine semblent dans l'ensemble être plus sains. Les échantillons prélevés à la sortie des stations d'épuration ne montrent pas, en règle générale, de signes de pollution par des agents tensioactifs alors qu'une tensioactivité avait été mise en évidence au niveau de l'entrée de ces stations d'épuration. Une station fait exception. Pour cette dernière, les valeurs à l'entrée et à la sortie sont quasi identiques.

L'origine de la baisse de la tension de surface d'une eau ne peut être incriminée à la seule présence de détergents. Ainsi de nombreuses autres molécules comprenant les molécules organiques présentes naturellement dans les eaux, peuvent participer à cet effet. La baisse de la tension de surface ne peut donc être considérée que comme un indicateur de pollution en tensioactifs et le dosage de certains détergents les plus souvent retrouvés dans les eaux doit alors être envisagé. Dans notre cas, nous nous sommes intéressés au dosage des LAS (linear alkyl benzene sulphonates). Les principales sources de pollution des eaux par les détergents sont les eaux usées domestiques (cuisines et salles de bain), les eaux usées industrielles (nettoyages industriels) et les eaux usées agricoles. Les protocoles de mise en évidence et de dosage des LAS sont détaillés en **Annexe 16A**.

Lors de la seconde campagne plus ciblée (retour dans les sites où des tensions de surface très basses ont été observées), 6 échantillons sur les 15 prélevés présentaient des valeurs de tension de surface inférieures à celle de l'eau. Les valeurs des tensions de surface variaient de **28,5 à 69,2 mN/m**. La détermination des tensions de surface donne une indication quant à la présence éventuelle de tensioactifs au niveau d'échantillons de rivière. Toutefois, l'utilisation des tensions de surface comme indicateur de pollution par les détergents est à prendre avec précaution. En effet, des molécules telles que les protéines ont également des propriétés tensioactives ou encore certaines molécules produites par des microorganismes présents dans les eaux. Au niveau du dosage, il faut également tenir compte du fait que certains tensioactifs peuvent s'adsorber au niveau des sédiments présents dans les cours d'eau. De plus, certains tensioactifs sont rapidement biodégradables et peuvent être à l'origine de la formation des intermédiaires possédant également des propriétés tensioactives. Les résultats du dosage des LAS sont présentés dans le **Tableau 13**.

Tableau 13 : Dosage des tensioactifs (LAS) dans les eaux

N°	Tension de surface (mN/m)	Concentration en LAS 10 (mg/l)	Concentration en LAS 11 (mg/l)	Concentration en LAS 12 (mg/l)	Concentration en LAS 13 (mg/l)
002	69	-	-	-	-
011	35,2	1,77	4,57	3,88	3,23
012	34	1,79	4,61	3,92	3,32
013	69,2	-	-	-	-
014	28,4	1,18	0,72	0,75	0,78
015	28,5	1,15	0,71	0,73	0,75

L'échantillon 002 correspond à une pollution limitée aux substances tensioactives. Les échantillons 011 et 012 correspondant à l'entrée d'une station d'épuration sont tous deux fortement chargés. La sortie de la station ne semble plus contenir de LAS dans les limites de détection mais la charge de départ a pu subir une dégradation partielle qui donne lieu à la production d'intermédiaires de dégradation. Ces derniers ne sont pas dosables par notre technique mais possèdent potentiellement des propriétés tensioactives.

Les échantillons 014 et 015 sont quant à eux très fortement contaminés, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils ont été prélevés dans des eaux stagnantes derrière une usine, source potentielle de substances tensioactives.

Ces résultats montrent la présence de tensioactifs en l'occurrence le sulfonate d'alkyle benzène linéaire (LAS) à des concentrations de l'ordre de **3,5 à 14 ppm** dans certains endroits. Au niveau du dosage, il faut tenir compte du fait que certains tensioactifs peuvent s'adsorber au niveau des sédiments présents dans les cours d'eau. De plus, certains tensioactifs sont rapidement biodégradables et peuvent être à l'origine de la formation des intermédiaires possédant également des propriétés tensioactives et qui ne sont pas dosés par notre méthode. Les concentrations totales en tensioactifs peuvent donc être plus élevées et dépasser les 15mg/l, teneur maximum en détergents anioniques, cationiques et non-ioniques des eaux déversées en égouts publics et les conditions de déversement en eaux de surfaces ordinaires fixée par l'Arrêté du Gouvernement Wallon 16-01-2003 (wallex.wallonie.be/).

Au niveau de l'échantillonnage, la mise en place d'un protocole robuste basé sur des données statistiques doit être envisagée. Celui-ci doit tenir compte de données environnementales et de facteurs extérieurs tels que la présence de zones industrielles ou de déversement d'égout qui peuvent être à l'origine d'une forte pollution localisée. Dans ce but, le nombre de prélèvements doit être fortement augmenté et ceux-ci doivent être effectués au niveau de différents endroits le long du cours d'eau concerné. Ces prélèvements doivent être également effectués à différentes périodes de l'année, les conditions climatiques influençant la charge en tensioactifs.

2.4.3. Gestion de déchets des polymères

En fin de vie, quatre voies de traitements de déchets d'emballages et de sacs plastiques sont proposées. Le compostage (en aérobie ou anaérobie) se repose sur les propriétés de biodégradation des emballages. L'incinération a pour objectifs de valoriser sous forme d'énergie. Le recyclage reforme des matières premières. La mise en décharge revient à enfouir les déchets.

A. Le compostage

Le compostage consiste à une valorisation des déchets par formation d'un compost (humus) utilisable en agriculture comme fertilisant. En anaérobie, du méthane se forme (biométhanisation) qui pourrait être transformé en énergie électrique.

Le compostage repose sur plusieurs critères et avant tout sur les propriétés de dégradation des polymères. Elles dépendent de l'environnement dans lequel ils se trouvent et de leur structure chimique.

On distingue les dégradations abiotiques et les dégradations biotiques. La biodégradation des polymères résulte en général de l'action concomitante des deux.

La dégradation abiotique a lieu sans l'action des microorganismes. Elle résulte de l'action de l'eau (dissolution) ou l'action de l'UV et la température (désintégration). Au contraire, la dégradation biotique met en jeu l'action des microorganismes. Les modes de biodégradation des polymères sont décrits en **Annexe 11A**.

Si des microorganismes sont répertoriés comme capables de dégrader les polymères à base d'acide lactique, la biodégradation de PLA se fait la plupart du temps en deux étapes. Tout d'abord, les liaisons esters sont hydrolysées conduisant à la réduction du poids moléculaire. Les fragments à bas poids moléculaire sont ensuite totalement assimilés par les microorganismes pour donner du CO₂, de l'H₂O et de l'humus.

Les polymères à base d'amidon par contre sont biodégradables directement par les microorganismes.

Les exigences de biodégradabilité des emballages et les tests à mettre en œuvre pour évaluer leur transformation sous forme de compost sont repris dans la norme EN 13432 explicités en **Annexe 12A**.

B. La valorisation énergétique

La valorisation énergétique est l'utilisation d'une source d'énergie résultant du traitement des déchets. L'énergie disponible se présente, soit sous forme d'un combustible gazeux, liquide ou solide, soit sous forme de vapeur produite à partir de la chaleur contenue dans les fumées de combustion. Trois types de technologie existent.

- L'incinération qui génère trois types de production : la chaleur, les mâchefers (résidus solides de la combustion des déchets dans la partie basse du four), les poussières (cendres volantes et résidus de traitement des gaz dans la partie haute du four).

- La thermolyse-pyrolyse est un traitement basé sur une réaction chimique en absence d'O₂ et à température modérée (entre 400 et 750°C) conduisant à une décomposition des matières organiques. Elles sont transformées soit en composant combustible solide assimilable à un charbon, s'il est séparé des inertes et des métaux, soit en composant gazeux constitué d'une fraction condensable (huile constituée de vapeur d'essence et d'eau) et d'une fraction non condensable (H₂, CH₄, CO, hydrocarbure).

- La gazéification est une conversion thermochimique comme dans le cas de la production de méthane.

Le **Tableau 13A** en annexe compare les énergies dégagées lors de l'incinération des plastiques.

D'après le tableau, les biopolymères ont une valeur énergétique inférieure lors de leur incinération. Cette voie ne semble donc pas intéressante.

C. Le recyclage

On distingue deux types de recyclage: le recyclage mécanique et le recyclage chimique.

Le recyclage mécanique (ou matière) consiste en une réduction dimensionnelle par broyage suivie d'une fusion et remoulage comme nouvelle matière. La composition du matériau ne change pas. Des produits vierges peuvent être ajoutés.

Le recyclage chimique consiste à décomposer les molécules constituantes des résines en matières premières utilisables dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie. Les techniques utilisées sont la pyrolyse, l'hydrogénation, la gazéification et la décomposition chimique proprement dite. Ces procédés coûtent trop chers et il n'y a pas encore de marché réel.

Il existe une loi sur les films agricoles qui stipule que 50% de déchets collectés doivent être recyclés en 2005. La fraction restante doit être récupérée en énergie. Ceci concerne les polyéthylènes (directive 2000/53/CE).

Les obstacles au recyclage matière des plastiques sont essentiellement la dispersion importante du matériel et le risque de contamination. De plus, le matériau obtenu est de moindre qualité (plus coloré) et le marché est encore limité. Les coûts des traitements de déchets sont donnés en annexe dans le **Tableau 14A**.

D. Comparaison des modes de valorisation

La pertinence d'une voie de valorisation des déchets plastiques repose sur plusieurs critères. Tout d'abord le traitement doit répondre à un impératif écologique et ne doit pas occasionner des impacts environnementaux négatifs. Ensuite, le procédé utilisé doit être rentable économiquement et une filière organisée doit exister pour la collecte, le traitement et l'écoulement des produits obtenus. Enfin, les déchets utilisés doivent être approvisionnés régulièrement en quantité et en qualité.

Le **Tableau 14** résume les avantages et inconvénients des différents types de traitements des déchets.

Tableau 14: Comparaison des voies de valorisation des déchets plastiques

Technologie	Points forts	Points faibles
Recyclage	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la mise en décharge - Récupération des énergies et des matières premières - Conservation des ressources fossiles et allongement de la durée de vie des produits 	<ul style="list-style-type: none"> - Tout n'est pas économiquement recyclable - Le recyclage consomme de l'énergie - Le produit recyclé possède une qualité inférieure par rapport au matériau d'origine - Marché limité aux produits qui nécessitent des qualités médiocres (sacs poubelles)

Technologie	Points forts	Points faibles
Compostage	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la mise en décharge - Le produit fini peut servir à l'amendement des sols - Technologie qui nécessite moins d'énergie que le recyclage ou l'incinération - Le compost peut remplacer l'utilisation de fertilisants qui ont un effet environnemental négatif - Limite les problèmes d'odeurs car les biopolymères produisent des intermédiaires acides qui neutralisent les ammoniac libérés par les composés azotés 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de problème d'odeurs - Pas de marché pour le produit fini - Pas de filière de récupération
Incinération	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit le volume des déchets - Produit de l'énergie - Ne nécessite pas d'espace important pour le réaliser 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus coûteux - Nécessite des contrôles et suivi de la sécurité - La rentabilité énergétique dépend de la qualité des déchets (si contient trop de matière organique par exemple) - Les biopolymères ont des valeurs énergétiques plus faibles que les pétropolymères
Mise en décharge	<ul style="list-style-type: none"> - Lieu d'élimination des résidus de recyclage et d'incinération - Facile à construire 	<ul style="list-style-type: none"> - Problème d'émission de gaz et de production de lixiviat (liquide qui provient de la percolation des eaux venant des déchets), peut polluer les nappes phréatiques - Le coût de la mise en décharge devient de plus en plus élevé avec les normes de sécurité et d'environnement - Occupation de surface sans culture

Adapté de X. Ren ; Journal of Cleaner Production 11 (2003)27-40

Afin d'évaluer l'impact du choix des traitements de déchets, les Analyses de Cycle de Vie pourraient être un outil d'orientation. L'exemple d'une Analyse de Cycle de Vie des produits finis (sacs et films) à base de biopolymères en l'occurrence le MATER-BI et à base de polyéthylène disponible dans la littérature (**Tableau 15A** en annexe) a été étudié. Suivant cette étude, l'utilisation de films à base d'amidon et le compostage comme voie de valorisation permettent de réduire l'émission de gaz à effets de serre et les impacts environnementaux. Ces films induisent toutefois un problème d'eutrophisation lié surtout aux cultures de maïs. Une autre étude a conclu que le compostage est meilleur par rapport à la mise en décharge surtout lorsque les sacs sont triés et séparés des matières organiques (**Annexe 14A**).

Ainsi, pour les films et sacs à base de biopolymères, la voie de valorisation la plus indiquée serait le compostage. De plus, durant le compostage, des dégagements de NH₃ surviennent. Lorsque les plastiques biodégradables sont mélangés aux déchets organiques, ils éliminent les problèmes d'odeurs lors du compostage. En effet, les plastiques biodégradables libèrent lors de leur dégradation des intermédiaires acides qui neutralisent et fixent le NH₃ généré durant la décomposition de la matière organique (Biodegradable plastic reduces ammonia emission during composting, K. Nakasaki, A. Ohtaki, H. Takano (polymer Degradation and Stability, 70(2000)185-188.

La directive 94/62/EC prévoit la valorisation par compostage comme alternative au recyclage des plastiques et la directive 1999/31/EC sur la mise en décharge prévoit une réduction de 75% des déchets mis en décharge en 1995 pour 2006. Cette réduction devrait atteindre 50% et 35% en 2009 et 2016 respectivement. Il est plus que jamais temps d'exploiter des alternatives autres que l'incinération ou l'enfouissement pour la fin de vie des emballages.

Une filière de compostage doit être toutefois mise en place depuis le triage des déchets, l'élaboration et contrôle des sites de compostage industriel jusqu'à l'organisation d'un marché.

Une étude a été réalisée afin d'évaluer les surfaces cultivées dans l'UE susceptibles d'absorber la production de compost. Il s'avère que sur base d'une utilisation maximum de 10 tonnes de compost par hectare, 4% seulement des terres arables seront nécessaires pour absorber la production européenne de compost (Bergans et Nangniot, 1999). Le marché ne semble donc pas saturé.

En Belgique, il existe 9 sites de compostage dont 6 en Flandre, 1 à Bruxelles et 2 en Wallonie. Les filières de compostage dans la région flamande bénéficient de la « Quality Assurance System » mais les biopolymères ne sont pas encore acceptés dans les sites de compostages industrielles par peur de contamination.

Un des freins au développement des emballages biodégradables en Belgique est le manque de cadre légal et de filière pour le traitement des déchets plastiques à base renouvelable. Par exemple, ces emballages ne sont pas acceptés dans les déchets organiques par les organismes qui traitent les déchets comme FOST plus, OVAM ou VLACO. De plus, d'après les distributeurs, les déchets d'emballages biodégradables et à base renouvelable sont taxés au même tarif que les polymères conventionnels alors qu'ils devraient être taxés comme les déchets à base de cartons qui coûtent 25 fois moins chers. Ceux-ci n'incitent pas les distributeurs à opter pour les emballages à base renouvelable.

2.4.4. Analyse de cycle de vie des bio-produits (ACV)

L'ACV est un outil normalisé (suivant la norme ISO 14040 à 14043) qui permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service tout au long de son cycle de vie depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement d'élimination du produit. Les normes ISO 14040 (1997) à 14043 (2000) spécifient les principes généraux et les exigences de transparence et de justification.

Elle comporte quatre étapes:

- Définition des objectifs et des champs de l'étude: détermination des limites de l'étude, de l'unité fonctionnelle et des données à récolter...
- Analyse de l'inventaire: c'est l'écobilan ou inventaire des flux de matières et d'énergies (facteurs d'impact) d'un système défini et les indicateurs (paramètres

- environnementaux). Les flux recensés sont basés sur le même service rendu. Par exemple, on définit une fonction d'emballer la même quantité de produits.
- Evaluation de l'impact: interprétation et analyse des impacts sur l'environnement sur base des chiffres des inventaires
 - Interprétation: analyse de la filière et identification des forces et faiblesses du système

Les détails et les étapes des Analyses de cycle de vie ainsi que quelques analyses des études disponibles dans la littérature sur les tensioactifs et les polymères à base d'amidon et de PLA sont présentés en **Annexe 13A et 14A**.

Le **Tableau 15** résume le « pour » et le « contre » de l'ACV en tant qu'outil d'évaluation des impacts environnementaux.

Tableau 15 : Les points forts et les points faibles de l'outil ACV

Pour	Contre	Piste proposée
Permet d'évaluer un système de production et pourrait être un outil d'amélioration d'un procédé	En tant qu'outil de comparaison, elle comporte des incertitudes et des hypothèses	Veiller à ce que les hypothèses soient uniformes
Dans leur procédure normalisée, les analyses sont critiquées par des experts indépendants	Parfois les valeurs sont différentes d'un auteur à l'autre	Uniformiser les méthodes utilisées
Permet de comparer deux produits différents du point de vue de l'impact écologique	Tous les paramètres écologiques ne sont pas pris en compte et l'évaluation de certains paramètres n'est pas toujours fiable	
	Peu d'études d'ACV disponible et pas pour tous les polymères ou tensioactifs existants	Développement d'un outil d'analyses standardisé
	Lieu d'étude différent, par exemple, on compare une unité de production implantée en Europe à une unité de production implantée aux Etats-Unis	
	N'intègre pas les aspects socio-économiques dans leur analyse	

L'analyse de ce tableau permet de tirer deux grandes conclusions.

L'ACV est un outil intéressant pour comparer deux procédés et améliorer un procédé en analysant les flux d'énergie et matière. Il permet dès lors de mettre en évidence l'étape limitante et de diminuer le coût de production.

On pourrait imaginer d'étendre le concept en intégrant, sur tout le cycle de vie des produits, l'aspect coût. Par exemple, à priori, les biopolymères actuellement sont en général plus chers que les polymères conventionnels. Mais pour des applications bien définies comme les films de paillage, le traitement de déchets peut avoir une répercussion sur le coût final. En considérant que les biopolymères sont biodégradables, ils ne nécessitent pas de ramassage et nettoyage des films et élimination en incinérateur.

Ils évitent ainsi des coûts de main d'œuvre. D'autres aspects socio-économiques ne doivent pas être négligés (emploi, ...).

Dans le domaine des polymères, les analyses de cycle de vie disponibles dans la littérature sont encore limitées. Elles sont le plus souvent basées sur des hypothèses. On peut toutefois tirer les conclusions suivantes :

- Globalement, les biopolymères PLA et à base d'amidon présentent un bilan énergétique favorable et émettent moins de GES par rapport aux polymères pétrochimiques conventionnels lorsqu'on considère seulement les étapes de production du granulé.

- Lorsqu'on considère l'analyse sur tout le cycle de vie, depuis la production des matières premières jusqu'à l'élimination des produits finis, le bilan des émissions de gaz à effet de serre n'est pas nécessairement meilleur. Quelques indicateurs environnementaux comme l'eutrophisation et l'acidification sont moins bons par rapport à leur équivalent pétrochimique.

- Le mode de traitement des déchets influence les résultats finaux. Le compostage par exemple pour les biopolymères réduit les émissions de gaz à effet de serre. De même, le recyclage des polymères dans le cas des pétropolymères conventionnels diminue les énergies nécessaires pour leur production et les émissions de GES.

Dans le domaine des surfactants, les ACV sont très limités. Les études s'accordent à dire que la production de tensioactifs à partir des ressources renouvelables permettent d'économiser de l'énergie fossile. En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, les deux voies pétrochimiques et renouvelables sont presque comparables. Mais il faut toutefois noter que dans le cas des tensioactifs renouvelables, une partie des émissions provient de la combustion d'énergies renouvelables.

2.4.5. Evaluation des surfaces nécessaires, gains en énergie fossile et réduction de Gaz à Effet de Serre (GES)

Une des conditions importantes à la faisabilité du remplacement à grande échelle des matières premières fossiles par les matières premières renouvelables est la disponibilité des surfaces cultivées. Les impacts environnementaux de l'augmentation de la consommation en bio-produits en terme de gain en énergie fossile et de réduction de gaz à effet de serre (GES) sont aussi évalués.

Les évaluations des surfaces nécessaires pour le remplacement des matières premières fossiles par les matières premières renouvelables sont réalisées en prenant comme exemple deux bio-produits disponibles sur le marché. Le remplacement des tensioactifs non ioniques pétrochimiques par les alkylpolyglycosides (APG) ainsi que celui des pétropolymères conventionnels par les Polyactides (PLA) sont évalués.

Les surfaces nécessaires exprimées en % (A_r) sont calculées suivant la formule :

$$A_r = S_u C (1-T) X 100/A$$

S_u : Surface nécessaire pour produire une unité de produit (ha/t)

A : Surface totale disponible actuellement pour une culture donnée (ha)

C : Consommation actuelle en produit à remplacer (t)

X : Pourcentage de remplacement

T : Taux de pénétration des bio-produits sur le marché actuel

Les gains d'énergie sont calculés suivant la formule :

$$E = e_p C (1-T) = e_s S_u C (1-T)$$

e_p = gain en énergie fossile par tonne de produit (J/t)

e_s = gain en énergie par hectare (J/ha)

La réduction d'émission de gaz à effet de serre est calculée suivant :

$$GHG = g_p C(1-T) = g_s S_u C (1-T)$$

g_p = réduction de GES par tonne de produit (t/t)

g_s = réduction de GES par hectare (t/ha)

Les différentes hypothèses prises en compte et les données utilisées lors des calculs sont résumées dans le **Tableau 16**.

Tableau 16 : Hypothèses et données

	Choix des molécules	S_u (ha/t)	Marchés	Hypothèses
TENSIOACTIFS	Substitution des tensioactifs non ioniques par les Alkylpolyglycosides (APG)	Partie hydrophile à partir de : Betterave sucrière : 0,06 ¹ Blé : 0,1 ²	Consommation de surfactant non ionique au Benelux : 115000 t/an ⁵ Taux de pénétration sur le marché : 25% ⁶	1t d'APG remplace 1t de tensioactif non ionique d'origine fossile
POLYMERES	Substitution des pétropolymères conventionnels par les Polylactides (PLA)	Betterave sucrière : 0,17 ³ Blé : 0,48 ⁴	Consommation de thermoplastique en Belgique : 2 millions t/an ⁷ Taux de pénétration sur le marché : < 0,1% ⁸	1t de PLA remplace 1t de pétropolymères

1. Par calcul : tonne de saccharose par tonne d'APG/tonne de saccharose par ha de betterave sucrière
2. Par calcul : tonne de glucose par tonne d'APG/tonne de glucose par ha de blé
3. Données Galactic (FAIR Project CT97-3070)
4. Données Galactic (FAIR Project CT97-3070)
5. Consommation 2005 sur base des chiffres 1995 avec un taux de croissance moyenne de 3% (étude Frost & Sullivan)
6. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), 2004
7. PlasticsEurope, 2004
8. International Biodegradable Association Working Group (IBAW), 2005

Les surfaces agricoles belges sont présentées à la **Figure 12**.

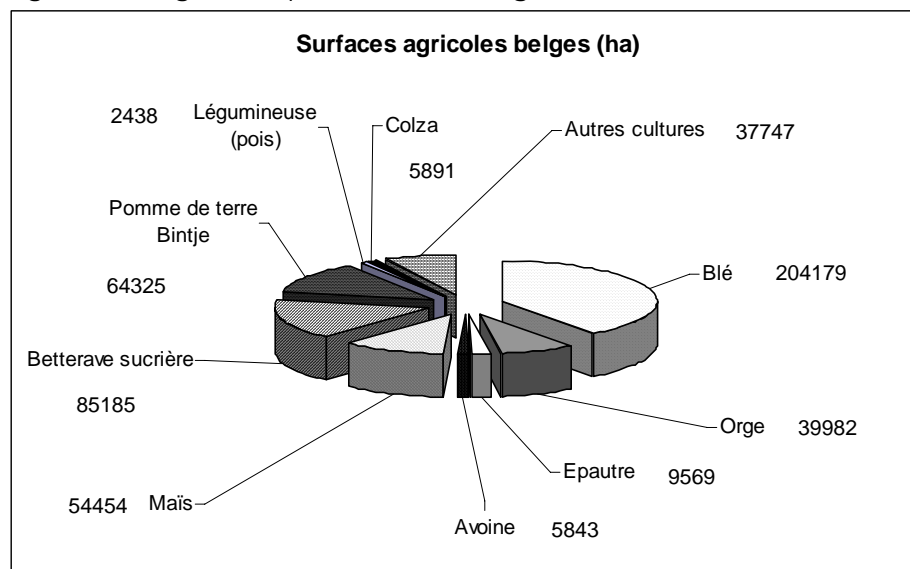


Figure 12 : Les principales productions agricoles belges (INS, 2004)

Dans le cas des tensioactifs, les matières premières nécessaires pour la synthèse des bio-produits choisis (en l'occurrence les Alkylpolyglycosides) sont de deux types. D'une part, les glucides comme l'amidon, le glucose ou le saccharose constituent leur partie hydrophile et d'autre part les huiles et acides gras essentiellement des C12-C14 forment leur partie hydrophobe. Les glucides sont fournis par les cultures belges comme les céréales, les pommes de terre ou la betterave sucrière. Par contre les acides gras C12-C14 ne sont pas disponibles à partir des huiles tempérées comme le colza. C'est pourquoi, seule la partie hydrophile est prise en compte.

En ce qui concerne la production du PLA, les matières premières sont des glucides comme l'amidon ou le saccharose. Ces matières premières sont disponibles à partir des grandes cultures belges comme les céréales, la pomme de terre ou la betterave sucrière.

En Belgique, la pomme de terre est essentiellement destinée à la consommation. C'est pourquoi les évaluations sont basées sur les deux cultures suivantes : le blé et la betterave sucrière.

A. Evaluation des surfaces nécessaires pour le remplacement suivant différents scénarios

- Les tensioactifs

Différents scénarios de taux de substitution sont évalués. Les résultats sont présentés à la **Figure 13**.

D'après la **Figure 13**, les ressources agricoles belges pourraient assurer le remplacement de toute la consommation en Benelux en tensioactifs non ioniques d'origine pétrochimique (75% de la consommation totale des tensioactifs non ioniques). Une ré-affectation de **6,1%** de la production en betterave sucrière belge vers le non-alimentaire suffirait à remplacer les tensioactifs non ioniques pétrochimiques. Dans les cas des blé, une ré-affectation de **4,2%** des productions vers le non-alimentaire suffiront pour ce remplacement. Ces pourcentages semblent raisonnables.

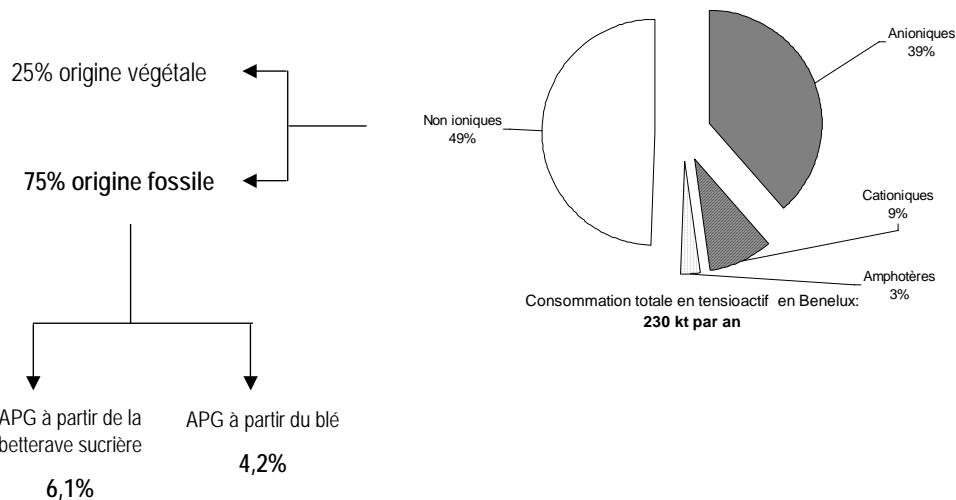


Figure 13 : Les scénarios de remplacement

- Le cas des polymères

Plusieurs scénarios de remplacement ont été évalués. Les résultats sont présentés à la Figure 14.

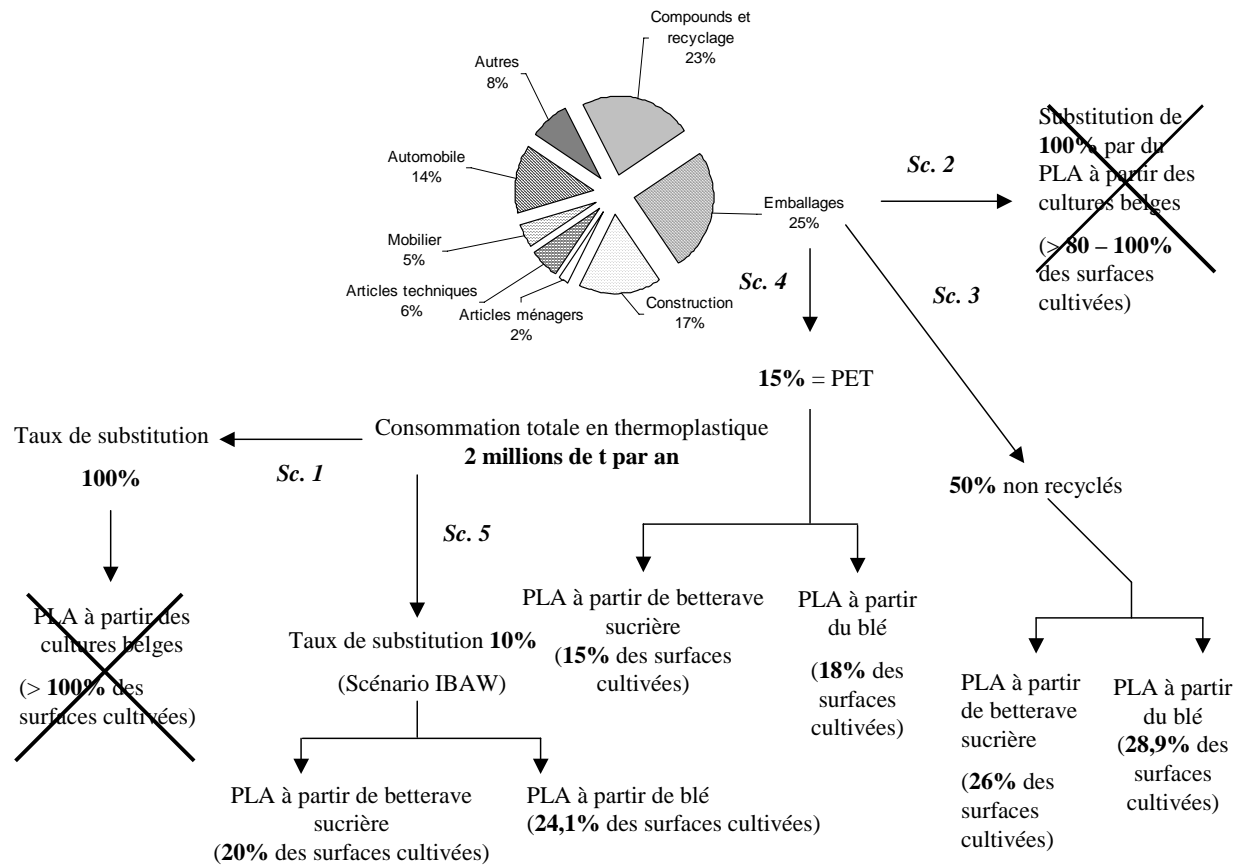


Figure 14 : Les différents scénarios

Scénario 1 : Remplacement de 100% de la consommation totale en plastique

Le premier scénario envisagé est le remplacement de toute la consommation en thermoplastique en Belgique qui est de l'ordre de 2 millions de tonne par an. Après calcul en utilisant la formule précédente, les résultats ont montré qu'il ne serait pas envisageable de remplacer toute la consommation car les surfaces nécessaires pour les trois cultures dépassent largement les surfaces actuellement cultivées.

Scénario 2 : Remplacement de toute la consommation en emballage (25%)

Dans le deuxième scénario, nous nous sommes intéressés à un secteur. Le secteur emballage nous semble un secteur intéressant à remplacer. En effet, un volume important d'emballages est consommé en entraînant un problème de déchets. Lorsqu'on a évalué le remplacement de la consommation en emballage en Belgique, en considérant qu'environ 25% de la production de thermoplastique sont affectées au secteur emballage (étude de Fecioplast), ce scénario n'est pas non plus envisageable car les surfaces cultivées actuellement ne sont pas suffisantes.

Scénario 3 : Remplacement de la consommation en emballage en tenant compte un taux de recyclage de 50%

Un autre cas de figure qui semble plus pertinent est de remplacer dans un premier temps les emballages qui ne sont pas repris dans une filière de recyclage. Selon FOST plus, environ 248000 tonnes de déchets plastiques récoltés sont recyclés en 2004. En considérant que les recyclés sont des déchets d'emballages, ce qui représente environ 50% de la consommation en plastique dans le domaine d'emballage, il resterait 250 000 tonnes à remplacer. Ce cas de figure nécessiterait d'utiliser simultanément environ **29%** des surfaces agricoles belges cultivées en blé et **26%** pour celles de la betterave sucrière.

Ce scénario serait donc envisageable en utilisant ces deux ressources agricoles.

Scénario 4 : Remplacement de la consommation en Polyéthylène téréphtalate (PET) dans le domaine de l'emballage (15% de la consommation en emballage)

Il a été démontré que le PLA pourrait remplacer le PET. Selon Plastics Europe, le PET représente environ 15% de la consommation totale en plastique dans le secteur emballage en Europe. En prenant cette proportion, un volume d'environ de 75 kilotonnes de Polyéthylène téréphtalate (PET) serait consommé en Belgique. Les surfaces nécessaires pour atteindre ce remplacement ne représentent que 15% des surfaces actuelles cultivées en betterave sucrière ou 18% des surfaces cultivées en blé.

Scénario 5 : Remplacement de 10% de toute la consommation plastique

Un autre scénario envisageable, selon IBAW (International Biodegradable Polymers Association & Working Groups), serait de remplacer 10% de la production européenne dans le secteur plastique.

D'après les résultats, on peut conclure que ce scénario est réalisable en utilisant simultanément 20% des surfaces cultivées en betterave sucrière et 24% des surfaces cultivées en blé.

En conclusion, seul un remplacement partiel de la consommation en polymère en Belgique est envisageable et plus particulièrement dans le secteur emballage.

Ces remplacements engendreraient pour les deux cas d'études plusieurs impacts positifs environnementaux.

- **Economie d'énergie fossile**

Par exemple, un taux de remplacement de 12,5% des pétropolymères permet d'économiser 2,5 millions de GJ d'énergie fossile.

- **Réduction des émissions de Gaz à effet de serre (GES)**

Le remplacement permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Quant à l'objectif de Kyoto, ces deux filières ne seraient pas les plus importantes mais y contribueraient probablement à l'atteindre. Une participation globale au niveau européen mais également la contribution d'autres secteurs d'activités comme l'énergie et le transport serait plus réaliste à envisager pour rejoindre les objectifs fixés.

Le remplacement de toute la consommation en surfactant en Belgique permet d'économiser 0,01 million de tonne de CO₂. Ceci ne représente même pas 0,1% des objectifs de Kyoto pour la Belgique en 2008-2012 qui est de 34,3Mt de CO₂ eq par an. Dans le cas des polymères, le remplacement de 50% de la consommation en emballage en Belgique permet d'économiser 0,13 millions de tonne de CO₂ équivalent, ce qui représente moins de 0,3% des objectifs de Kyoto.

SYNTHESE

Nous avons organisé cette synthèse en suivant les étapes successives du cycle de vie d'un produit fabriqué à base de matières premières renouvelables. Ceci nous permet de considérer l'ensemble des acteurs de la chaîne d'approvisionnement, des agriculteurs en passant par les industries de transformations jusqu'au consommateur final. La fin de vie des produits est également étudiée. Notre approche pluridisciplinaire originale, liant points de vues technologique et socio-économique, éclaire les interactions entre ces différents acteurs et permet de comprendre obstacles et opportunités liés à l'utilisation des matières premières renouvelables.

Le cycle de vie d'un produit débute par la production et l'extraction des matières premières qui le composent. Dans le cadre des ressources renouvelables, les acteurs principaux à ce stade sont les agriculteurs et l'industrie d'extraction. La deuxième étape consiste à transformer les matières premières en produits finis qui seront distribués au marché. Entrent en jeu à ce niveau l'industrie de transformation (par exemple l'industrie chimique) ainsi que la distribution. Le cycle de vie du produit se clôture avec son utilisation par les consommateurs qui l'amènent en fin de vie, où intervient la problématique de traitement des déchets.

1. Production et extraction des matières premières

Les obstacles mis en évidence sont liés à la gestion et à l'aménagement du territoire, ainsi qu'aux pratiques agricoles.

Tout d'abord, nos évaluations démontrent que les surfaces cultivables belges ne permettraient pas d'approvisionner une industrie de grande capacité produisant un produit de grande commodité comme les plastiques issus de polymères végétaux. La situation est différente en ce qui concerne le domaine des tensioactifs. En effet, notre étude montre que la production à grande échelle de tensioactifs serait envisageable en utilisant les productions agricoles belges. Le remplacement des tensioactifs d'origine pétrochimique par les alkylpolyglycosides ne nécessiterait par exemple qu'une petite partie de la production agricole nationale actuelle. Au vu des difficultés actuelles du secteur, toute possibilité de production même relativement faible ne peut être toutefois négligée. Cependant, un impact significatif ne pourrait résulter que d'un accroissement très important du taux d'utilisation des matières premières renouvelables ou d'investissement conséquent dans une entreprise à vocation internationale largement tournée vers l'exportation. Aujourd'hui, il serait peut être plus intéressant de valoriser les sous-produits agricoles pour la synthèse de ces tensioactifs, du moins en considérant la partie hydrophile, et d'exploiter le concept de bio-raffineries. L'avantage de ce concept repose sur le fait que la faisabilité économique ne dépend pas d'un seul marché.

Outre la disponibilité intrinsèque de surfaces cultivables, la qualité des cultures pose également question. En effet, si le respect de la biodiversité incite à suggérer l'utilisation de sources végétales variées, il est difficile d'uniformiser les matières premières obtenues à partir de sources diversifiées, car elles peuvent être de qualité inégale suivant le type de culture. On peut citer l'exemple des amidons dont la proportion amylose/amylopectine varie en fonction des espèces. Dans le cas des tensioactifs à base de glucides, une partie hydrophobe, généralement constituée d'un dérivé d'huile, est indispensable pour former la molécule de tensioactif. Les huiles tempérées telles que le colza, ne fournissent pas les chaînes courtes C12-C14 nécessaires dans le domaine des détergents.

Pour faire face à ces problématiques, plusieurs solutions sont envisageables. Ainsi les inconnues en matière de qualité pourraient être surmontées à travers la sélection des variétés selon leur aptitude à satisfaire les exigences techniques de ces procédés et par le développement de technologies d'extraction appropriées. L'indisponibilité de surfaces agricoles pourrait être partiellement résolue par l'adoption de pratiques agricoles plus productives. Se posent alors la question éthique des organismes génétiquement modifiés, ainsi que les problèmes liés à l'utilisation plus intense d'engrais et de pesticides. Les sous-produits agricoles sont une autre source de matières premières non négligeable pour les industries plastiques et les secteurs utilisant les tensioactifs. Ces sous-produits (paille, son, rafle...), disponibles en grande quantité, sont riches en polysaccharides (cellulose, hémicellulose...). Une technologie de fractionnement rentable de ces matières serait toutefois à développer.

Un autre obstacle freinant le développement de la production et de l'extraction des matières premières est leurs prix. Les quotas de production imposés actuellement et les prix proposés pour ces nouvelles matières premières n'encouragent pas les agriculteurs à investir dans ces secteurs émergents. Dans le cas de la betterave sucrière par exemple, l'achat des récoltes, suivant leur teneur en sucre, est basé sur des prix fixés qui garantissent un revenu équitable aux producteurs et limité suivant un quota bien défini afin d'éviter la surproduction. Si l'on veut développer des applications non alimentaires, il est nécessaire de réviser ces pratiques en y intégrant les nouvelles possibilités de production afin de débloquent les quotas et de trouver un prix équilibré assurant à la fois un revenu aux agriculteurs et une rentabilité de la filière au niveau industriel. Si cette dernière condition n'est pas remplie, notre agriculture risque de passer à côté de ces nouvelles opportunités au profit de productions issues d'agricultures pratiquant un prix plus compétitif pour des matières premières produites en grandes quantités et présentant parfois des avantages technologiques supérieurs.

Tant l'utilisation à des fins non alimentaires des terres non cultivées que la valorisation des sous-produits agricoles offrent au secteur agricole de nouvelles perspectives en absorbant les excédents agricoles et en valorisant les jachères. De plus, les agriculteurs s'offrent une nouvelle image en devenant des partenaires à part entière d'une filière non alimentaire à haute valeur ajoutée. Le secteur industriel peut aussi profiter de belles opportunités car la production à des fins non alimentaires, encourage la mise en place de PME pour les marchés des nouveaux bio-produits.

Au niveau de l'extraction, de nombreuses technologies sont maîtrisées pour les applications alimentaires et pourraient être transférées dans le non alimentaire. La production de sous-produits que ce soit lors de la récolte ou lors de l'extraction a été souvent citée comme un problème à prendre en compte. En réalité, il faudrait l'envisager comme autre source de matières premières et favoriser le concept de bio-raffinage. Les sous-produits agricoles sont par exemple riches en molécule C5 et en fibres. Dans cette perspective, les technologies d'extraction et de conversion de ces sucres devraient être maîtrisées. Elles pourraient être élargies pour la biomasse en général. Citons à titre d'exemple, la production d'alkylpentosides à partir des sous-produits agricoles en France par la société ARD.

2. Production de bio-produits et transformation des produits finis

Un des problèmes de la production des tensioactifs à base de matières premières renouvelables réside dans la difficulté d'obtenir des produits homogènes dans certains cas, du moins par la voie chimique. Les alkylpolyglycosides commercialisés sont par exemple un mélange d'homologues à des degrés de polymérisation variés.

La voie biotechnologique plus spécifique permettrait de résoudre ce problème, mais elle est souvent plus coûteuse. En effet, le rendement est généralement faible et elle implique plusieurs étapes de purification dans certains cas.

Les freins se situent également au niveau de la formulation des produits finis.

La partie hydrophobe des tensioactifs provient généralement des cultures tropicales (chaînes C12 - C14) et ne valorise pas les huiles tempérées notamment dans le secteur de la détergence où ils sont utilisés comme co-tensioactifs.

Les huiles tempérées sont constituées de triglycérides avec des chaînes plus longues (C16-C18) qui sont plutôt utilisées dans des applications plus techniques comme l'agriculture ou le nettoyage industriel.

Dans le cas des polymères, les technologies de transformation des pétropolymères sont adaptables aux biopolymères. Les freins se situent plutôt au niveau de la performance des produits finis pour certaines applications. La stabilité thermique des Polyactides (PLA) et la tenue mécanique des polymères à base d'amidon sont leurs deux points faibles et qui limitent leurs applications dans certains secteurs.

Un autre frein non négligeable pour les industriels du secteur des polymères est le facteur coût (ceci est aussi vrai dans une moindre mesure pour le secteur des tensioactifs). Aujourd'hui, les filières reposant sur des matières premières renouvelables sont plus coûteuses par rapport à leurs équivalents pétrochimiques.

Plusieurs raisons peuvent être invoquées comme l'existence d'un facteur d'échelle qui permet d'accroître la rentabilité en augmentant les capacités de production. Le marché des biopolymères représente par exemple moins de 0,1% du marché total des polymères, la maturité peu avancée des technologies qui peuvent encore évoluer et certains rendements de production plus faibles.

3. Utilisations des produits

Plusieurs facteurs influencent le comportement d'achat du consommateur. Les critères de choix sont variés. La performance des produits finis est un facteur important principalement dans le domaine de la détergence. Or l'analyse a montré que les performances des bio-produits dépendent des applications choisies.

Dans le cas des tensioactifs, il a été constaté que le pouvoir détergent des tensioactifs d'origine végétale (dont les deux parties constituantes sont d'origine végétale) est moindre que celui des tensioactifs d'origine fossile. Ces tensioactifs sont plutôt utilisés comme co-tensioactifs ou émulsifiants dans les détergents ménagers.

Dans le domaine cosmétique par contre, les propriétés adoucissantes et émulsifiantes des tensioactifs d'origine végétale sont intéressantes car déterminantes dans le choix du consommateur. Le développement de nouveaux produits répondant aux critères qualité du secteur de la détergence serait un atout majeur.

Cependant, afin de développer le marché des tensioactifs d'origine renouvelable, il est indispensable « d'éduquer » le consommateur qui a souvent un a priori défavorable pour les produits à base de matières premières renouvelables. En effet, notre enquête démontre qu'au-delà du prix, près d'un tiers des consommateurs sont persuadés qu'ils dégagent une odeur désagréable alors que près de la moitié d'entre eux les jugent moins efficaces.

Dans le cas des polymères, les propriétés thermo-mécaniques insuffisantes de certains biopolymères ont été relevées. Les recherches actuelles devraient apporter rapidement les solutions à ces problèmes.

Le marché des biopolymères est un marché niche et encore limité. Les applications sont plutôt liées aux propriétés intrinsèques des biopolymères et les applications sont ciblées.

Ces biopolymères sont par exemple très intéressants pour des applications ciblées dans les domaines médical et pharmaceutique.

Pour les applications de commodité, ils apportent également des propriétés supplémentaires. Par exemple, dans le domaine de l'emballage, la propriété antistatique est intéressante pour emballer des appareils électroniques.

Outre les difficultés liées aux performances des produits, d'autres peuvent venir du consommateur. Celui-ci est la plupart du temps mal informé en matière de ressources renouvelables, il ne peut donc pas en mesurer les avantages bien que plusieurs études dont la nôtre mettent en évidence une sensibilité accrue pour les problématiques environnementales.

Enfin, le facteur coût est un autre élément important à prendre en compte étant donné que les produits à base de matières premières renouvelables sont généralement un peu plus coûteux. Cet aspect est surtout problématique pour les produits à très faible valeur ajoutée comme les films et sacs. Mais le prix fait aussi partie des critères de choix du consommateur en matière de détergence et dans une moindre mesure en matière de cosmétique.

4. La fin de vie des produits

Un autre facteur important est la fin de vie des produits. Les effets sur l'environnement des procédés de productions et de la consommation du produit sont importants à déterminer. Dans le cas des tensioactifs, les analyses de cycle de vie disponibles indiquent que la voie oléochimique et renouvelable permet d'économiser 30 à 70% d'énergies fossiles. Dans le cas des polymères, l'utilisation de ressources renouvelables permet des gains de 25 à 50% d'énergie fossile pour les deux biopolymères choisis dans notre étude. Elle permet de réduire également les émissions de gaz à effet de serre. Une évaluation des émissions de gaz à effet de serre suivant des scénarios de remplacement réalistes pour les deux filières a permis de conclure un faible gain d'émissions de gaz à effet de serre (de l'ordre de 0,1% à 0,3% par rapport à l'objectif de Kyoto). Ces réductions d'émission de gaz à effet de serre ne sont pas les plus importantes pour atteindre les objectifs de Kyoto.

En ce qui concerne la biodégradation des tensioactifs, ceux d'origine végétale (Alkylpolyglycosides et alkylglucamides) sont biodégradables jusqu'à leur minéralisation complète. Pour les tensioactifs pétrochimiques comme le sulfonate d'alkyle benzène linéaire (LAS), la biodégradation finale dans certaines conditions (anaérobie) n'est pas complète, ce qui libère des molécules intermédiaires qui pourraient être toxiques pour l'environnement.

Il faut noter que les conditions réelles dans l'environnement ne sont pas toujours optimales et même en aérobie, les tensioactifs peuvent ne pas se biodégrader complètement. La nature ne reproduit donc pas les conditions requises dans les normes qui permettent aux pétrochimistes d'affirmer que leurs produits sont également biodégradables. Or, notre campagne de dosage des tensioactifs dans les réseaux hydrographiques wallons, a démontré des concentrations élevées en tensioactifs (LAS) de l'ordre de 3,5 à 14 ppm à certains endroits.

La législation sur la biodégradation pourrait être revue afin de préciser les conditions et le taux de biodégradation à atteindre. La nouvelle directive sur la biodégradation qui demande un taux de biodégradation final de 60% ne tient pas compte des molécules intermédiaires formées et l'effet des 40% non biodégradables.

En ce qui concerne les polymères, l'absence d'une filière de traitement de déchets adéquate comme le compostage est un frein majeur. Dans le secteur emballage, un

des attraits des biopolymères est leur biodégradabilité/compostabilité. S'il n'y a pas de cadre législatif et filière en aval pour leur traitement et leur valorisation, celle-ci n'a pas réellement d'intérêt. Notons que le développement d'une telle filière n'est réalisable que si une labellisation claire guidant le consommateur vers un tri efficace est mise en place.

5. Impact de l'acteur politique

Tout au long de notre étude nous avons mis en évidence les freins au développement de l'utilisation de matière première renouvelable à des fins non alimentaires. Il s'avère que les aspects réglementaires sont essentiels pour favoriser l'émergence d'éco-innovations (Rennings, 2000).

Quant à la production des bio-produits et la transformation des produits finis, il s'avère nécessaire de favoriser l'utilisation de ressources renouvelables via une obligation partielle (dans certains cas et certaines proportions) de recourir à ces matières. La loi du 21 décembre 1998 relative aux normes de produits permet de prendre des mesures. Cette loi habilite le Roi à adopter des normes à l'égard des produits qui sont mis sur le marché. « En vertu de l'art.5, le Roi peut prendre des mesures très diverses par rapport à ces produits afin de protéger l'environnement et de promouvoir des modes de production et de consommation durables. L'application de cette loi permettrait de répartir les produits en catégories selon leurs effets sur l'environnement et de déterminer des règles spécifiques pour l'étiquetage d'un produit » (Misonne et *al.*, 2004). De plus, les différences de prix entre les biopolymères et les polymères conventionnels pourraient être réduites via la suppression des écotaxes sur les emballages renouvelables.

La fin de vie des biopolymères n'est actuellement pas gérée différemment de celle des polymères conventionnels. Il est indispensable de mettre sur pied une chaîne de compostage. Pour ce faire, le développement d'une labellisation claire est primordial.

Suite à nos analyses, nous avons identifié des pistes de recommandations afin de mettre en place une politique de développement durable.

RECOMMANDATIONS

1. Recherche et Développement

- 1.1. *Encourager les projets de recherche entre universités et entreprises*
Favoriser la collaboration entre les universités et les entreprises dans les projets de recherche par la mise en place de diverses aides spécifiques aux recherches qui touchent les matières premières renouvelables est primordiale. Des financements pourraient être proposés comme ceux offerts par la Politique Scientifique Fédérale ou le programme d'aides en matière de recherche et développement technologique offert par l'Union Européenne (JOCE 2020 L232) qui offre des financements aux universités et entreprises travaillant dans les domaines prescrits. Les programmes d'aides spécifiques pour les recherches et développements dans le domaine des matières premières renouvelables dans les pays voisins (FNR en Allemagne et AGRICE en France) sont des exemples à suivre et pourraient être créés en Belgique.
- 1.2. *Valoriser les ressources renouvelables bon marché comme les sous-produits agricoles et industriels.*
Les lignocelluloses sont disponibles en grande quantité, mais une technologie de fractionnement et de conversion de ces matériaux est encore peu développée. Les pistes actuelles sont les craquages thermiques (pyrolyse) et les voies biotechnologiques.
- 1.3. *Favoriser la mise en place du concept de bio-raffinerie afin de valoriser au maximum les ressources agricoles y compris les sous-produits.*
L'intérêt de ce concept est que le marché ne dépend pas d'un seul type de produit. De plus, les valeurs ajoutées des produits sont augmentées.
- 1.4. *Améliorer les procédés d'extraction et de purification des bio-molécules notamment lorsqu'on utilise la voie biotechnologique lors de la production.*
Cette voie est intéressante car elle est plus spécifique et s'opère dans des conditions douces, par contre le rendement est relativement faible. La recherche de nouvelles souches productrices d'enzymes plus performantes est une priorité. La piste de « biomimétisme » qui consiste à imiter et à reproduire (en milieu aqueux, température ambiante...) les matériaux produits naturellement par les êtres vivants pour leurs performances particulières dans des applications bien définies est à explorer.
- 1.5. *Recherche pour améliorer les performances des bio-produits*
 - 1.5.1. Tensioactifs
 - *Améliorer le pouvoir détergent des tensioactifs d'origine végétale en augmentant leur hydrophilie, par exemple.*
 - *Valoriser les huiles tempérées dans le domaine de la détergence.*
La recherche pourrait s'orienter vers la fonctionnalisation des chaînes grasses ou la formulation pour créer des effets de synergie. Une autre voie est le clivage des chaînes grasses insaturées pour obtenir des chaînes plus courtes.

- *Utiliser et explorer la voie biotechnologique* pour la synthèse des tensioactifs afin de résoudre le problème de non-spécificité.
- *Exploiter, quand elles existent, les propriétés multifonctionnelles des tensioactifs d'origine végétale* lors de la formulation des produits (par exemple ils sont à la fois émulsifiants, adoucissants et mouillants).
- *Valoriser les molécules à potentiel pour la synthèse des tensioactifs* comme les stérols et certains polysaccharides.

1.5.2. Polymères

- *Améliorer les propriétés mécaniques et la stabilité à la température* de certains biopolymères
Les recherches pourraient s'orienter sur la mise en œuvre des nanocomposites, mais également par ajout de charge en utilisant les fibres disponibles en grande quantité. La co-polymérisation est aussi une voie intéressante.
- *Rechercher des applications ciblées pour les biopolymères grâce à leurs propriétés intrinsèques.*
Les biopolymères possèdent des propriétés spécifiques intéressantes comme par exemple leurs propriétés de barrière aux gaz pour des applications ciblées en emballage intelligent.
- *Valoriser les technologies utilisant les autres matières premières disponibles en grande quantité* comme les sous-produits lignocellulosiques ou le glycérol en tant que monomère pour la production des biopolymères.
La lignine est la deuxième matière première renouvelable abondante après les polysaccharides, mais il y a peu de valorisation dans le domaine des polymères. Elle est souvent utilisée comme charge dans les matériaux composites. La difficulté réside dans la complexité de sa structure. Elle comporte pourtant des fonctions réactives comme les hydroxyles. Il serait intéressant de développer une technologie qui pourrait la fragmenter en divers monomères utilisables pour la synthèse des polymères.
- *Développer et exploiter la biotechnologie blanche pour la production d'intermédiaire lors de la synthèse des biopolymères.*
En effet, plusieurs souches de microorganismes peuvent transformer la biomasse en molécules fonctionnelles indispensables pour la synthèse des polymères. A ce niveau, la recherche de nouvelles souches utilisant les différents sous-produits agricoles disponibles en grande quantité à coût réduit pour la production de monomères est un créneau à développer.

1.6. *Accroître les connaissances sur la biodégradabilité* en particulier sur l'effet des produits pendant la cinétique de dégradation et sur leurs effets toxiques dans les eaux.

1.7. *Développer et utiliser l'outil Analyse de Cycle de Vie et l'analyse fonctionnelle des procédés* afin de déterminer les étapes limitantes lors de la production en vue d'améliorer le rendement et en même temps de minimiser les impacts environnementaux.

- 1.8. *Développer des méthodes de détermination et de contrôle des origines des tensioactifs* contenus dans les produits finis principalement lors de l'acquisition d'un label certifiant l'utilisation des matières premières renouvelables.
- 1.9. *Développer une méthode de reconnaissance des biopolymères* lors des traitements des déchets « compostables » afin d'éviter les contaminations avec les autres matériaux.
- 1.10. *Favoriser les projets de démonstration et encourager la recherche des TPE ou PME* se lançant dans ces créneaux. La mise à disposition de conseillers se partageant entre plusieurs entreprises leur permettrait de disposer d'informations, d'aides,...à moindres frais.
- 1.11. *Développer les Recherches dans les matières juridiques afin d'intégrer les innovations et les problématiques liées au développement et à l'expansion des ressources renouvelables.*

2. Marché et prix

- 2.1. *Stimuler les investisseurs tentés par les matières premières renouvelables car les économies d'« échelle » seront déterminantes sur les prix.* Les investisseurs pourraient profiter des aides à l'investissement proposées par le plan Marshall par exemple. Ce plan prévoit des enveloppes budgétaires pour les secteurs d'activités dans lesquels la Wallonie est susceptible de devenir un leader au niveau européen. Grâce aux investissements, on évite la situation de quasi-monopole actuelle pourrait être dépassée(principalement dans le domaine des polymères).
- 2.2. *Mettre en place des incitants afin de promouvoir l'utilisation des matières premières renouvelables.* Des solutions juridiques à destination des consommateurs telles qu'une diminution de la TVA pourraient permettre une réduction des coûts. Selon une directive européenne sur la TVA, les Etats membres sont libres d'appliquer un ou deux taux réduits à condition que le taux soit égal ou supérieur à 5%. Cependant, il faudrait aller plus loin en ne diminuant la TVA que sur certains types de matières, ce qui n'est actuellement pas prévu. La Belgique ne peut pas accorder des aides comme elle le souhaite : le pouvoir du droit communautaire pèse sur elle, ces solutions juridiques sont donc à traiter avec beaucoup de précaution. Or, les différents pays de l'Union s'accordent difficilement sur le sujet de la T.V.A.
- 2.3. *Développer le marché en lançant des achats « verts » à destination des services publics en intégrant les critères « origine renouvelable » dans le cahier des charges.* Une politique de développement durable lors des marchés publics de fournitures est lancée par les pouvoirs adjudicateurs de l'autorité fédérale (Moniteur belge 04-02-2005). Dans le guide des achats durables des détergents, l'écolabel fait partie des critères écologiques. On pourrait, par exemple, étendre le critère en intégrant l'« origine renouvelable des tensioactifs » dans le cahier des charges.
Aux Etats-Unis, par exemple, le Département d'agriculture américain a lancé un programme ayant pour but de favoriser l'utilisation des bio-produits.

- 2.4. *Mise en place d'actions contraignantes afin de motiver les non- utilisateurs de matières premières renouvelables.* Par exemple, grâce à une expansion du principe du pollueur-payeur aux entreprises qui n'utiliseraient que des matières fossiles à condition qu'une alternative renouvelable soit possible sans nuire au produit. Selon ce principe les entreprises dont les activités sont nuisibles pour l'environnement doivent supporter le coût des mesures nécessaires à la réduction des nuisances dont elles sont la cause. Il s'agit de leur imposer des amendes, des astreintes,...

3. Législation

- 3.1. *Promotion de la prise de participation des agriculteurs dans les nouvelles initiatives industrielles par la mise en place d'un accord de partenariat entre les industriels et les agriculteurs.* Ceci serait facilité par la création d'un organisme qui centraliserait les contrats et mettrait les parties en contact. Cet organisme permettrait de protéger les agriculteurs, de leur offrir des informations et des conseils tout en facilitant la tâche de recherche de fournisseurs des entreprises.
- 3.2. *Détermination de prix tels que la production à destination des applications non alimentaires permette un gain pour les agriculteurs et des bénéfices pour les industriels.* L'idéal serait dans un premier plan de mettre en place un programme temporaire d'aide aux agriculteurs. Comme par exemple le programme LIFE proposé par l'Union Européenne afin d'appuyer les actions novatrices respectant l'environnement. Une fois le système lancé, ce programme pourrait être réévalué en fonction des besoins.
- 3.3. *Mise en place de normes bien définies pour les critères environnementaux des produits.*

3.3.1. Tensioactifs

- Renforcer les normes de biodégradation :

La nouvelle directive sur la biodégradation des tensioactifs dans les détergents fixe la biodégradation finale des molécules à 60% en 28 jours. Néanmoins, la directive ne tient pas compte des intermédiaires qui peuvent être toxiques notamment pour certains tensioactifs pétrochimiques comme le sulfonate d'alkyle benzène. De plus les 40% restant pourraient aussi avoir des répercussions sur la population aquatique. Il serait intéressant de préciser et de tenir compte des effets éventuels des intermédiaires et des 40% restants.

La Belgique pourrait prendre des mesures plus restrictives que celles proposées par l'Europe. En effet, l'art. 95 du traité de Rome dans ses paragraphes 5 à 7 autorise le maintien ou la création de législations nationales plus strictes que celles recommandées par l'Union, notamment dans le domaine de la protection de l'environnement.

- Création d'une législation en matière d'étiquetage des produits finis afin d'éviter les confusions terminologiques entre les produits contenant des extraits de plantes en faible quantité et ceux contenant des tensioactifs d'origine renouvelable. On pourrait par exemple élargir le règlement européen n°648/2004 sur l'étiquetage des produits détergents en informant les consommateurs sur les origines des tensioactifs.

3.3.2. Polymères

- Norme de biodégradation

Etablir un consensus général et normalisé des définitions de quelques termes comme la biodégradabilité, les biopolymères. Un accord volontaire entre quelques entreprises et organismes travaillant dans le domaine du renouvelable existe déjà par exemple pour définir les critères requis pour la production et commercialisation de « polymères biodégradables » en respectant la norme EN 13432.

- *Elaboration d'une directive interdisant l'utilisation des « oxo-biodégradables » d'origine pétrochimique* qui contiennent des métaux lourds susceptibles d'avoir des effets négatifs pour l'environnement et en ne les classant ni comme « biodégradables » ni comme « compostables » selon une norme bien précise.

3.4. *Suppression ou allègement des écotaxes pour les biopolymères certifiés « compostables ».*

Les emballages « compostables » pourraient bénéficier au moins d'une taxation plus légère comme ceux des emballages en carton.

En Allemagne, les sacs biodégradables sont exemptés d'écotaxes jusqu'en 2012.

3.5. *Développement de critères bien définis pour la mise en place d'une labellisation claire des plastiques.*

3.6. *Législation qui impose l'utilisation des matières premières renouvelables dans certains produits.* La Société Wallonne de Distributions d'Eau impose par exemple l'utilisation à proximité des cours d'eau non navigable de biolubrifiants d'origine végétale dans les cahiers de charge.

4. Agriculture

4.1. *Développement d'une structure d'information sur les possibilités de valorisation non alimentaire qui fera le lien entre les agriculteurs et les industriels.*

L'asbl Valbiom joue déjà un rôle important pour tout ce qui est promotion des cultures dans les applications non alimentaires. De telles initiatives sont à encourager.

4.2. *Amélioration des pratiques des cultures*

Si les cultures sont élargies vers des destinations non-alimentaires, leur impact sur l'environnement sera augmenté. Ceci nécessiterait de revoir les pratiques des cultures. L'« agriculture raisonnée » qui consiste à minimiser l'utilisation de produits chimiques (fertilisants, pesticides...) est une voie à explorer. Il existe déjà actuellement des codes de bonne conduite qui proposent des recommandations dans ce domaine. Cependant il ne s'agit que de recommandations et non d'obligations.

4.3. *Promotion des cultures spéciales et peu développées qui pourraient être une source de matières premières intéressantes*

Il pourrait s'agir des plantes oléagineuses ou protéagineuses qui contiennent des molécules importantes pour la synthèse des tensioactifs et polymères. La culture du lin est par exemple peu développée en Belgique et pourtant il existe une industrie utilisatrice d'huile de lin en Belgique.

4.4. *Amélioration des cultures qui fournissent les matières premières principales pour les tensioactifs et polymères*

Le problème soulevé par notre étude concernant la disponibilité « qualitative » de certaines matières premières (dans le secteur « détergent » par exemple, les plantes tempérées ne fournissent pas des chaînes grasses courtes nécessaires) pourrait être résolu par la sélection variétale.

5. Education et sensibilisation

5.1. *Lancement de campagnes de sensibilisation à destination des consommateurs afin qu'ils prennent conscience de l'existence de produits à base de matières premières renouvelables, des avantages de ces derniers et des impacts positifs qu'ils ont sur l'environnement. Ce type de campagne a déjà fait ses preuves lors de l'initiation des consommateurs au tri des déchets.*

5.2. *Au niveau des programmes scolaires, intégration de cours en relation avec les matières premières renouvelables*

5.3. *Elaboration d'outils éducationnels ludiques à destination des enfants et des adolescents comme nous l'avons initié en finançant un jeu ludoéducatif grâce au programme PADDII.*

5.4. *Sensibilisation, via une campagne d'information des consommateurs, à la reconnaissance des différents labels pour un tri de déchets efficace pour le compostage.*

5.5. *Lancer des programmes de démonstration auprès des consommateurs des intérêts des matières premières renouvelables mais également des projets d'études de mises sur le marché des bio-produits.*

En Allemagne, le projet Kassel a étudié la possibilité de commercialisation d'emballages biodégradables à grande échelle et l'acceptation de la part des consommateurs.

Le débat est loin d'être clos. Ces recommandations devraient faire l'objet d'une réflexion dans une optique européenne (via des contacts avec les DG agriculture et environnement par exemple). Des propositions plus précises sous forme de rédactions de textes juridiques permettraient de concrétiser ces pistes. Le **tableau 17** résume les pistes de recommandations en les classant par ordre de priorité.

Tableau 17 : Les principales pistes de recommandations

Court terme	Recherches et développements (encourager les projets de recherche entre universités et entreprises, valoriser les ressources renouvelables bon marché comme les sous-produits agricoles et industriels, développer le concept de bio-raffinerie, améliorer les propriétés et performances des bio-produits, développer les Recherches dans les matières juridiques ...)
	Stimulation des investisseurs via des aides à l'investissement et des incitants
	Création d'un organisme favorisant un partenariat entre les agriculteurs et les industriels
	Détermination d'un prix acceptable pour le secteur du non-alimentaire pour tous les acteurs
	Amélioration des pratiques de culture
	Sensibilisation des consommateurs de l'existence de produits à base de matière première et de la reconnaissance de labels
	Intégration de cours en relation avec les matières premières renouvelables dans les programmes scolaires
	Elaboration d'outils éducationnels à destination des enfants et des adolescents
Moyen terme	Développement du marché en lançant des achats verts à destination des services publics en intégrant les critères « origine renouvelable » dans les cahiers de charge
	Développement de critères pour une labellisation claire des plastiques
	Amélioration et promotion des cultures qui fournissent les matières premières principales pour les tensioactifs et les polymères
	Lancement de programme de démonstration auprès des consommateurs des intérêts des matières premières renouvelables
Long terme	Mise en place d'actions contraignantes afin de motiver les non utilisateurs des matières premières renouvelables
	Mise en place de normes bien définies pour les critères environnementaux des produits
	Suppression ou allègement des écotaxes pour les biopolymères certifiés compostables
	Législation imposant l'utilisation des matières premières renouvelables dans certains produits

CONCLUSIONS

Cette étude avait pour but d'examiner la faisabilité technico-socio-économique du remplacement des matières premières fossiles par les matières premières renouvelables dans les domaines des tensioactifs et des polymères. Les secteurs de la détergence et du packaging ont été plus particulièrement évalués dans cette démarche d'intégration des matières premières renouvelables.

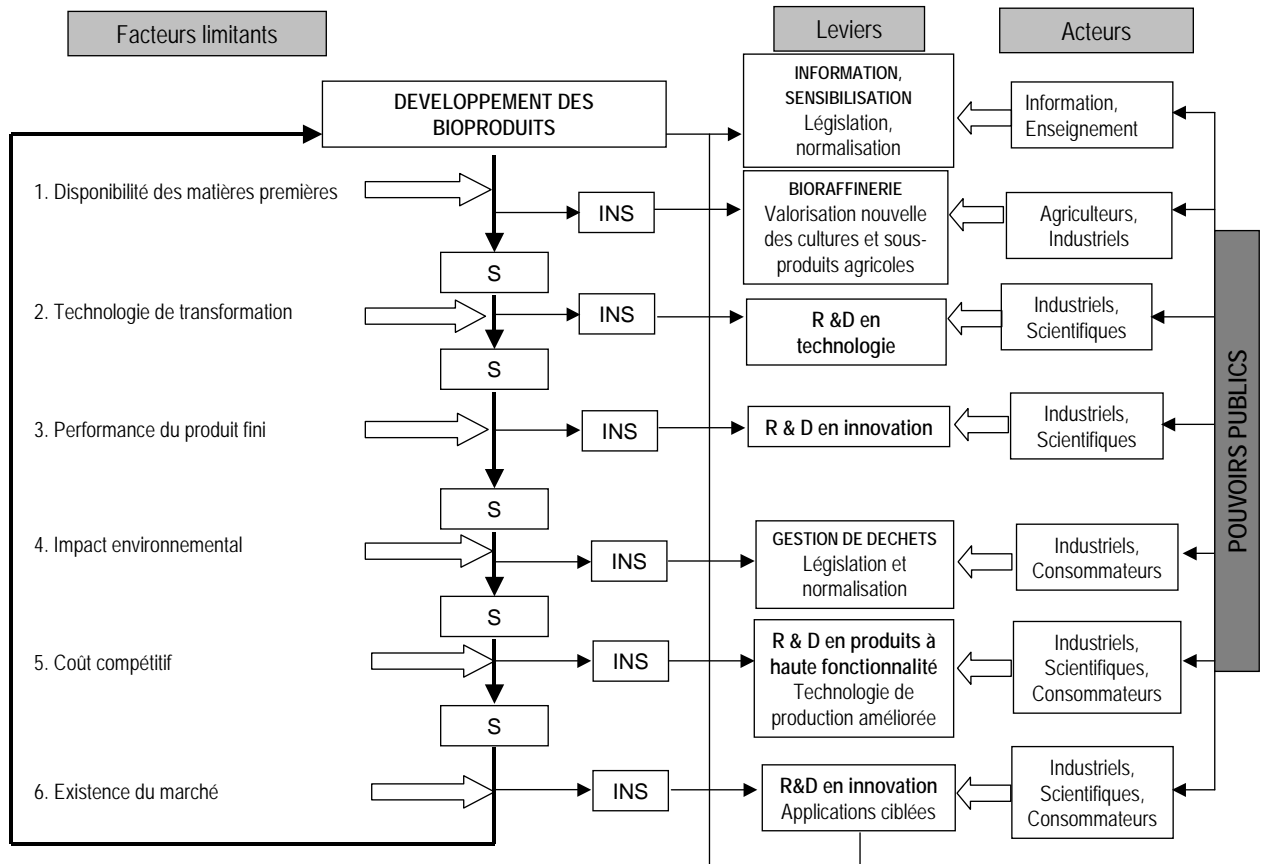
En Belgique, dans ces secteurs industriels, des intérêts de plus en plus marqués pour ces matières premières renouvelables ont été mis en évidence. Dans le secteur de la détergence, l'exemple de la firme belge ECOVER est une preuve de la faisabilité de cette démarche. Cette société produit et commercialise des détergents et divers produits cosmétiques intégrant des tensioactifs à base de matières premières végétales. Dans le secteur des polymères, la société belge GALACTIC, deuxième producteur mondial d'acide lactique, a atteint la maturité technique et le savoir-faire nécessaire pour passer à une phase de production à grande échelle.

De telles initiatives sont néanmoins encore peu courantes et le contexte actuel ne favorise pas encore une substitution à grande échelle. Notre étude approfondie de l'entièreté de la chaîne d'approvisionnement a montré que les freins techniques ne constituent pas les principales barrières. Ces barrières se placent surtout au niveau de la faisabilité socio-économique.

Dans le domaine des tensioactifs, des lacunes en matière de normalisation ne favorisent pas le développement des bio-produits (directive concernant la biodégradation finale des tensioactifs, label reconnu intégrant des critères sur l'origine des tensioactifs...). De plus, les avantages des produits à base de matières renouvelables ne sont pas toujours perçus par le consommateur. Il reste encore beaucoup d'a priori négatifs à lever par des actions de sensibilisation et d'information intensives.

Dans le domaine des polymères, la différence de prix entre matières premières d'origine pétrochimique et celles d'origines renouvelables constitue un frein difficilement franchissable sans une reconnaissance des avantages techniques offerts par les biopolymères. Leurs propriétés intrinsèques devraient leur permettre de disposer d'un statut privilégié légitime (par exemple absence d'écotaxes) et de mesures légales favorables à l'expansion du marché (norme de biodégradation). La méconnaissance des consommateurs en matière de composition des biopolymères est aussi un frein car leurs avantages et leur mode d'utilisation sont méconnus.

Le schéma ci-dessous résume les difficultés rencontrées lors d'une démarche de remplacement de matières premières fossiles par les matières premières renouvelables. Les différents leviers à ces problèmes sont également présentés ainsi que le rôle que doit jouer chacun des acteurs impliqués.



S : Suffisant
 INS : Insuffisant

Comme conclusion à cette étude, nous pensons qu'il est important de privilégier trois pistes de recommandations.

Tout d'abord, il est indispensable de stimuler et **financer les Recherches et Développements** afin d'améliorer les propriétés des bio-produits, de répondre aux attentes des transformateurs et consommateurs, et de lever les réticences émises à leur rencontre. Une intensification de la collaboration par proposition d'aides financières entre les industriels et les universitaires est primordiale.

Ensuite, la **création d'une normalisation** oeuvrant pour la minimisation des impacts environnementaux en fin de vie des produits (normes de biodégradation et de compostabilité) est un incitant important pour la promotion des matières premières renouvelables. Il faudrait également **lever les barrières liées à l'accessibilité économique des matières premières** par la suppression des écotaxes par exemple.

Enfin, le **marché public** est une opportunité intéressante pour promouvoir les produits à base de matières premières renouvelables. En imposant des « **achats verts** » dans les cahiers de charge des collectivités publiques, un volume important de marché pourrait être atteint. De plus, cela pourrait agir comme un levier sur le marché grâce à l'exemple ainsi montré aux consommateurs.

D'autres mesures de type juridique sont envisageables mais nécessitent au préalable des accords au niveau européen.

VALORISATION ET COMMUNICATION DES RESULTATS

I. Elaboration d'outils éducationnels (en collaboration avec asbl Valbiom)

L'élaboration d'outils éducationnels à destination des élèves de classes primaires et secondaires a été réalisée en collaboration avec l'asbl Valbiom et avec l'aide de spécialiste dans le développement technologique de tels outils.

Outils éducationnels à destination des élèves des classes primaires

L'outil développé est une application ludoéducative sur le thème de la valorisation de la biomasse.

Le principe du jeu permet aux élèves de s'immerger progressivement dans l'univers de la biomasse. En relevant des défis de jeux d'adresse classiques, les élèves découvrent plusieurs possibilités de valorisation des ressources agricoles pour les applications industrielles comme la fabrication de plastiques à partir de maïs, de l'énergie à partir du blé ...

La version « démo » est finalisée et testée. Une recherche de partenariats pour la finalisation et la diffusion est en cours.

Outils éducationnels à destination des élèves des classes secondaires

Dans le cadre de ce projet, le financement proposé n'a pas permis de réaliser des outils éducationnels à destination des élèves des classes secondaires. Il a permis toutefois d'établir un contact avec le réseau SCITE (un réseau interuniversitaire pour la promotion des Sciences) et de s'y associer étroitement en intégrant les problématiques du « Développement Durable et Ressources Renouvelables » dans les sujets traités. L'asbl Valbiom élaborera avec eux des mallettes pédagogiques susceptibles d'être utilisées par les professeurs comme support pédagogique.

II. Organisation de conférence (en collaboration avec asbl Valbiom)

Dans le cadre de ce projet, une conférence a été organisée à Namur le 14 octobre 2005 sur le thème de « Développement Durable et Ressources Renouvelables ». Elle a permis de rassembler environ 200 participants (scientifiques, industriels, étudiants, enseignants...).

III. Publications et communications

3.1. Publications

« **Les polymères issus des plantes: matériau à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique** » (2005) soumis dans *Biotechnologie Agriculture Société et Environnement*
H.N. Rabetafika, M. Paquot, Ph. Dubois

“**Renewable resources for new product development: the case of polymers in the Belgian industry**” (2005) soumis dans *Journal of Cleaner Production*
Laurence Janssens and Annick Castiaux

“**From renewable vegetable resources to microorganisms: new trends in surfactants**”,
C.R. Chimie 7, 641-646 (2004)
M. Deleu and M. Paquot

“**Synthesis of novel D-glucuronic fatty acid esters using Candida antarctica lipase in tert-butanol**”, *Biotechnology letters*, 26, 419-424 (2004)
Moreau B., Lognay G.C., Blecker C., Brohée J.C., Chéry F., Rollin P., Paquot M., Marlier M.

3.2. Communications orales

« **Particularités des matières premières issues de l’agriculture pour des applications ciblées en Industrie Plastique** »
Conférence « Valorisation des ressources renouvelables. De l’agriculture à l’industrie plastique (points de vue des industriels), Roubaix, novembre 2005
H.N. Rabetafika et L. Janssens

“**Concept de bioraffinerie**”
Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », FUNDP, octobre 2005
A. Castiaux

“**From Fossil Resources to Renewable Resources as Raw Materials for Chemical Products: Impact Analysis in the Supply Chain**”
ISIE (International Society for Industrial Ecology) 2005 conference, Stockholm, juin 2005.
A. Castiaux and L. Janssens

“**Interaction entre les différents acteurs de la chaîne d’approvisionnement : le cas des biopolymères** »
Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », FUNDP, octobre 2005
L. Janssens

“**Renewable resources for new product development: the case of polymers in the Belgian industry**”
Conference 10th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production, Anvers 5-7/10/2005
L. Janssens and A. Castiaux

"Sustainability through Renewability"

FUNDP Namur, 17/05/2005

L. Janssens

"Sustainability through renewability",

Researchers and doctoral students' day, Namur, mai 2005.

L. Janssens

« Nouveaux produits, nouvelles technologies, voir autrement la betterave sucrière dans un concept de bio-raffinage »

Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », FUNDP, octobre 2005

M. Paquot

« La chimie verte : le cas des polymères »

Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », FUNDP, octobre 2005

Ph. Dubois

« Potentialité des ressources agricoles belges pour le remplacement des matières premières fossiles, les cas des tensioactifs et polymères »

Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », FUNDP, octobre 2005

H.N. Rabetafika

« Les biopolymères : l'exemple des polymères à base d'acides lactiques »

FUSAGx Gembloux, octobre 2005

H.N. Rabetafika

« Les tensioactifs verts: de quoi s'agit-il ? »

Education permanente, Charleroi, mai 2005

H.N. Rabetafika

« La betterave sucrière: alternative aux produits pétroliers? »

Journée de Formation Continue, UMH Mons, mars 2005

H.N. Rabetafika

"Alternative aux produits pétrochimiques: le cas de la betterave"

Communication à l'attention des agriculteurs organisée par la firme Pype, Kain, janvier 2005.

J.G. Baudoin, L. Janssens, H.N. Rabetafika

"Ecosystème industriel", un concept stratégique pour l'utilisation optimale et partagée des ressources,

Première rencontre de la Biomasse, Gembloux, avril 2004

A. Castiaux

"Les tensioactifs naturels"

Première rencontre de la Biomasse, Gembloux, avril 2004

M. Paquot

"Study of surface active properties and thermal behavior of enzymatically prepared sugar esters"

COSM'ING, Ingrédients cosmétiques et Biotechnologies, Saint-Malo, France, juillet 2004.
Blecker C., Deroanne C., Lognay G., Marlier M., Moreau B., and Paquot M.

"Les matériaux « plastiques » : aujourd'hui et demain"

Foyer culturel de Saint Ghislain, février 2004
Ph. Dubois

"Le plastique se fait bio"

Journées de formation continue, UMH, Mons, mars 2004
Ph. Dubois

"Le plastique se fait bio ou de la betterave à l'ordinateur"

Journées des Mathématiques et Sciences, UMH, Mons, mars 2004
Ph. Dubois

"De la betterave à l'ordinateur"

Printemps des Sciences, UMH, Mons, avril 2004
Ph. Dubois

"Biodegradable poly(ester-alt-ether) by Ring-Opening Polymerization of 1,4-dioxan-2-one"

World Polymer Congress MACRO 2004, Paris, juin 2004
Raquez J.- M., Degee Ph., Narayan R., Dubois Ph.

« Polylactic Acid: un exemple de biopolymères"

FUSAGx Gembloux, décembre 2004.
H.N. Rabetafika

3.3. Communications sous forme de posters

« Les tensioactifs et polymères potentiels à partir des ressources agricoles belges »

Poster présenté à la Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », Namur, 14/10/2005
H.N. Rabetafika, L. Janssens, A. Castiaux, Ph. Dubois, and M. Paquot

"Mise au point d'une méthodologie de mise en évidence de la présence de détergents dans le réseau hydrographique wallon »

Poster présenté à la Conférence « Développement Durable et Ressources Renouvelables », Namur, 14/10/2005
D. Goffin, H.N. Rabetafika, D. Devroede, and M. Paquot

« Evaluation of agricultural belgian feedstock for surfactant and polymer manufacturing"

Poster présenté à la conférence "International conference Renewable Resources and Biorefineries", Gent, Belgique, Septembre, 19 – 21/2005
H.N. Rabetafika, L. Janssens, Ph. Dubois, A. Castiaux, and M. Paquot

"Les formulations cosmétiques à base de tensioactifs issus de matières premières renouvelables"

Poster présenté aux « 11èmes journées de Formulation : Matières premières, concepts et procédés innovants en formulation Cosmétique » organisé par la Société Française de Chimie et Société Française de Cosmétologie, Paris 8-9/12/2004.
H.N. Rabetafika, L. Janssens, A. Castiaux, M. Paquot

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie ADEME, (2004). Segmentation des utilisations des agro-tensioactifs et de leurs marchés potentiels.
- Ahmad S. et *al.*, (2002). Studies on ambient cured polyurethane modified epoxy coatings synthesized from a sustainable resource, *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, 83 -88
- Akiyama M. and *al.*, (2003). Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation, *Polymer Degradation and Stability*, 80, 183-194.
- Allenby B. (2004), "Clean production in context: an information infrastructure perspective", *Journal of Cleaner Production* 12, 833-839
- Andreasson H. et *al.*, (1993) The surfactants industry-entering rough waters., *Chimicaoggi*
- Angel del Brio J., Junquera B. (2003), "A review of the literature on environmental innovation management in SMEs: implications for public policies", *Technovation* 23, 939-948
- APME publication, Biodegradable Plastics.
- APME publication, (2001), *Plastics in Packaging*.
- Article de campagnes solidaires, n° 156, octobre 2001, mensuel de la Confédération Paysanne
- Asrar J., Gruys K.J., (2002). Biodegradable Polymer (Biopol), in *Biopolymers*, edited by Steinbüchel, vol. 4, *Polymers III, Applications and Commercial Products*, Germany, edited by Doi Y., and Steinbüchel A., Wiley-VCH, pp 53-81
- Auras R. et *al.*, (2004). An overview of polylactides as Packaging Materials, *Macromol. Biosci.*, 4, 835-864,
- Bastoli C., (1998). Properties and applications of Mater-Bi starch-based materials, *Polymer Degradation and Stability*, 59 263-272.
- Belgobiotech. White biotechnology: gateway to a more sustainable future.
- Bergans J. et Nangniot S., (1999). Rapport intermédiaire : Tensioactifs et autres produits de l'industrie de la détergence issus de ressources renouvelables, *Chimie végétale et Biologie Industrielle*, (01/01/99 au 30/06/99).
- Berger H., (1997). Environmentally compatible surfactants for the cosmetic industry, *International Journal of Cosmetic Science*, 19, 227-237,
- Biresaw G. and Carriere C.J., (2004). Compatibility and mechanical properties of blends of polystyrene with biodegradable polyesters, *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 35, 313-320.
- Bleischwitz R. (2003), "Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency", *Ecological Economics* 46, 453-467
- Bognolo G., (2004). Sustainable Surfactants: Renewable Feedstocks for the 21st Century. The needs of the surfactant industry, *Newsletters*, 10, 2004 visible sur <http://www.nf-2000.org/secure/other/S1031.htm>
- Bovea M.D. and Vidal R (2004), "Increasing product value by integrating environmental impact, costs and customer valuation", *Resources, Conservation and Recycling* 41, 133-145
- Brouayx A., Piazza M. (2004), " La saga des plastiques continuent ", étude CRIOC, Du côté des consommateurs, 156.
- Brouyax A., Piazza M., L'éco-consommation en Wallonie, Etude CRIOC, juin 2003.
- Brunnermeier S.B. and Cohen M.A. (2003), "Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries", *Journal of Environmental Economics and Management* 45, 278-293
- Buschmann N. et *al.*, (1996). Analytical methods for alkylpolyglycosides *Agro-food-Industry Hi-Tech* - January/February.
- Casavant T. E and Côté R. P (2004), "Using chemical process simulation to design industrial ecosystems", *Journal of Cleaner Production* 12, 901-908
- CESIO, (2004). News Issue 8, june 2004
- Chakar F., Ragauskas A.J., (2004). Reviw of current and future softwood kraft lignin process chemistry, *Ind. Crop Prod.*, 20, 131-141
- Chandra R. and Rustgi R., (1998). Biodegradable polymers, *Prog. Polym. Sci.*, Vol. 23, 1273 - 1335,
- Charters W.W.S., Developing markets for renewable energy, *Renewable Energy*, 22, 217-222, 2001.
- Chen Chien-Chung and *al.*, (2003). Preparation and characterization of biodegradable PLA polymer blends, *Biomaterials*, 24, 1167-1173.
- Chiellini E. and *al.*, (2001). Composite films based on waste gelatin: thermal-mechanical properties and biodegradation testing, *Polymer Degradation and Stability*, 73, 549-555
- Chiellini E. et *al.*, (2002). Biobased Polymeric Materials for Agriculture Applications, in *Biodegradable Polymers and Plastics*, chap. 13, pp 185-220, edition Chiellini E. and Solaro R., 395 pages.

- Chiellini Emo, (2004). Development of biodegradable and biocompatible polymeric materials. A global challenge, ICS-UNIDO, Seminar series Trieste, February 18, 2004
- Chien-Chung Huang and Hwong-Wen Ma, (2004). A multidimensional environmental evaluation of packaging materials, *Science of Total Environment*, 324, 161-172
- Clark II W.W., Paolucci E., Cooper J (2003), "Commercial development of energy-environmentally sound technologies for the auto-industry: the case of fuel cells", *Journal of Cleaner Production* 11, 427-437
- Currie L. A. et al., (2002). Authentication and dating of biomass components of industrial materials; links to sustainable technology, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 172, 281-287
- Davis G. Song J.H., (2005). Biodegradable packaging based on raw materials from crop and their impact on waste management, *Ind. Crop Prod.*, in press
- De Wilde B. et al., (1998). Prerequisites for biodegradable plastic materials for acceptance in real-life composting plants and technical aspects, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 7-12.
- De Wilde B., (2002). Biological treatment of biodegradable waste technical aspects, workshop 8 - 10 april 2002 edited by Heinrich Langenkamp and Luca Marmo.
- De Wilde B., (2003). Science et Emballage, Plastiques biodégradables - Emballages compostables : point de la situation, *Pack News*, décembre N°154,.
- Detergent Enzyme, (1997), *INFORM*, vol. 8, n°1
- Dewick P. and Miozzo M. (2002), "Sustainable technologies and the innovation-regulation paradox", *Futures* 34, 823-840
- Dewick P. et al. (2004), "Technological change, industry structure and the environment", *Futures* 36, 267-293
- Diamantopoulos A, Schlegelmilch B.B., Sinkovics R.R. and Bohlen G.M.(2003), " Can socio-demographics still play a role in profiling green consumers ? A review of evidence and an empirical investigation. ", *Journal of Business Research*, n°56, 465-480.
- Domenek Sandra et al., (2004). Biodegradability of wheat gluten based bioplastics, *Chemosphere*, 54, 551-559.
- Dornburg Veronika et al., (2004). Comparing the Land Requirements, Energy Savings, and Greenhouse Gas Emissions Reduction of Biobased Polymers and Bioenergy, *Journal of industrial Ecology*, volume 7, N°3-4.
- Doumène Sophie, (2004)., Fiche technique emballage. Les emballages biodégradables, CCI Emballage
- Duchin F. et al. (1995), "Technological change, trade and the environment", *Ecological Economics* 14, 185-193
- Ecoconsommation, L'étiquetage des cosmétiques généralités, fiche n°120.
- Ehrenfeld J. R., *Industrial ecology: a framework for product and process design*, *Journal of Cleaner production*, 1-2, vol 5, 87-95, 1997.
- Ehrenfeld J.(2004), "Industrial ecology: a new field or only a metaphor?", *Journal of Cleaner Production* 12, 825-831
- Erkman S. (1997), "Industrial ecology: an historical view", *Journal of Cleaner Production* 5, 1-10
- Etude ADEME/AGRICE n°0101020, " Analyse fine des marchés de produits de référence dans le secteur des tensioactifs, définition des propriétés à atteindre en fonction des applications envisagées.
- Etude Ernst & Young réalisée pour l'Ademe (2003), " Etude du marché des matériaux biodégradables"
- Evrard Y., Pras B., Roux E., Choffay J-M., Dussaix A-M., Claessens M., " Market : Etude et recherches en marketing " 2nd édition, Nathan, 1997.
- FAIR Project CT97-3070 : Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials. Production of biodegradable films and bottles made of polylactid acid - PLA prepared by Brussels BIOTECH
- Figge F. and Hahn T., Sustainable Value Added-measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency, *Ecological Economics*, 48, 173-187, 2004.
- Final report to the European Commission: Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste
- Folmer B.M., (2003). Sterol surfactants from synthesis to applications, *Advanced in Colloid and Interface Science*, 103, 99 - 119
- Fraanje P. J. (1997), "Cascading in pine wood", *Resources, Conservation and Recycling* 19, 21-28
- Fraanje P. J. (1997), "Cascading of renewable resources hemp and reed", *Industrial Crops and Products* 6, 201-212

- Frey J. H. and Mertens Oishi S, How to conduct interviews by telephone and in person, 1995, Sage Publication, London, 1995.
- Friends of the earth, (2002), Greenhouse Gases and waste management Options, Briefing, visible sur internet
- Fujimaki T., (1998). Processability and properties of aliphatic polyesters, "BIONOLLE", synthesized by polycondensation reaction, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 209 - 214
- Fuller D. A and Ottman J. A. (2004), "Moderating unintended pollution: the role of sustainable product design", *Journal of Business Research* 57, 1231-1238
- Garcia M.T. et al., (1997). Ecological Properties of Alkylglucosides, *Chemosphere*, vol. 35, n°3, pp 545 - 556,.
- Garcia M.T. et al., (1999). Effect of the alkyl chain length on the anaerobic biodegradability and toxicity of quaternary ammonium based surfactants, *Chemosphere*, vol. 38 ; N° 15, 3473 - 3483,.
- Garthe James W., Communication, College of agricultural Sciences, U.S. Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating. The chemical Composition of Degradable Plastics.
- Gattin R. and al., (2001). Comparative Biodegradation Study of Starch-and Polylactic Acid-based Materials, *Journal of polymers and the Environment*, Vol. 9, N°1.
- Georgel Olivier, (2004). Le recyclage des déchets au Japon. Ambassade de France au Japon. Service pour la Science et la technologie (23-04-04).
- Gerstlberger W. (2004), "Regional innovation systems and sustainability - selected examples of international discussion", *Technovation* 24, 749-758
- Goldemberg J. et al. (2003), "How adequate policies can push renewables", *Energy Policy* 32, 1141-1146
- Green Technology Challenge, consultation document, www.hm-treasury.gov.uk.
- Green-Tech Newsletter, (2004). vol.7, n°2, 2004
- Gross Richard A. and Kalra Bhanu, (2002). Biodegradable polymers for the Environment, *Science*, vol 297, 2 august 2002
- Haake J. and Jolivet P. (2001), "Some reflections on the link between production and consumption for sustainable development", *International Journal of Sustainable Development* 4, xxx-xxx
- Haberl H. and Geissler S. (2000), "Cascade utilization of biomass: strategies for a more efficient use of scarce resource", *Ecological Engineering* 16, S111-S121
- Hagelaar G. J.L.F. et al. (2002), "Environmental supply chain management: using life cycle assessment to structure supply chains", *International Food and Agribusiness Management Review* 4, 399-412
- Hall J. (2000), "Environmental supply chain dynamics", *Journal of Cleaner Production* 8, 455-471
- Hall J. and Kerr R. (2003), "Innovation dynamics and environmental technologies: the emergence of fuel cell technology", *Journal of Cleaner Production* 11, 459-471
- Hasirci V. et al., (2001). Versatility of biodegradable biopolymers : degradability and an in vivo application, *J. Biotechnol.*, 86, 135-150
- Heeres R.R., Vermeulen W.J.V. and de Walle F.B, Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons, *Journal of Cleaner Production*, 12, 2004, 985-995.
- Henkel European Laboratories, (1997). Alkyl polyglucosides, renewable surfactants from coconut and corn, *Carbohydrates in Europe*, 18, October 1997
- Highlights in Bioplastics, an IBAW (International Biodegradable Polymers Association & Working Group) publication
- Hill K., (2000). Fats and oil as oleochemical raw materials, *Pure Appl. Chem.*, 72, 7, 1255 - 1264
- Hill K., Skin care forum, issue 26, New cosmetic raw materials from fats and oils.
- Hirsinger Frank, (1998). Comparing oleochemical and petrochemical surfactants with the life cycle inventory method (LCI), *Chimica OGGI/ Chemistry today* - October 1998.
- Hjeresen D.L., Kirchhoff M.M. and Lankey R.L, Green chemistry : Environment, Economics, and Competitiveness, *Corporate environment strategy*, 3, vol 9, 2002.
- Hoffmann Jaromir and al., (2003). Assessing biodegradability of plastics based on poly(vinyl alcohol) and protein wastes, *Polymer Degradation and Stability*, 79, 511-519.
- Holmberg K., (2001). Natural surfactants, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 6, 148-159
- Horn S, Bader H.J. and Buchholz K, Royal Society of Chemistry. Plastics from renewable raw materials and biologically degradable plastics from fossil raw materials.
- Howard Gary T., (2002). Biodegradation of polyurethane: a review, *International Biodeterioration and Biodegradation* 49 245-252. Jansen L. (2003), "The challenge of sustainable development", *Journal of Cleaner Production* 11, 231-245

- Infante M. R. et *al.*, (1997). Non-conventional Surfactants from Amino Acids and Glycolipids/ Structure, Preparation and Properties, *Colloids and Surfaces, A : Physicochemical and Engineering Aspects*, 123 - 124, 49 - 70.
- Jin Y., Wang D. and Wei F., The ecological perspective in chemical engineering, *Chemical Engineering Science*, 59, 1885-1895, 2004.
- Johansson I., Svensson M., (2001). Surfactants based on fatty acids and other natural hydrophobes, *Current Opinion in Colloids & Interface Science*, 6, 178 - 1888
- Jossart J.M., (2004). Comment la bioénergie et les biomatériaux peuvent diminuer les émissions de CO₂ et aider la RW à atteindre les objectifs de Kyoto, première rencontre de la Biomasse, *Valbiom*, 21-22/04/04
- Käb H., (2002). Back to Nature Trends in développement and Markets of Biodegradable Materials, *Kunststoffe plast Europe* vol. 92, 9
- Kassel project: Information about the world's only pilot project for marketing and recycling of compostable packaging made from biodegradable polymers.
- Kastrinos N., The future of Britain's green growth, *Futures*, 8, vol 27, 995-996, 1995.
- Kautto P., Melanen M., How does industry respond to waste policy instruments-Finnish experiences, *Journal of Cleaner production*, 12, 1-11, 2004.
- Klauss M., Bidlingmaier W., (2004). Pilot scale field test for compostable packaging materials in the city of Kassel, Germany, *Waste Manage.*, 24, 43-51
- Kolk A. and Pinske J. (2004), "Market Strategies for Climate Change", *European Management Journal* 22, 304-314
- Korhonen J. (2001), "Co-production of heat and power: an anchor tenant of a regional industrial ecosystem", *Journal of Cleaner Production* 9, 509-517
- Korhonen J. (2002), "A material and energy flow model for co-production of heat and power", *Journal of Cleaner Production* 10, 537-544
- Korhonen J. (2004), "Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology", *Journal of Cleaner Production* 12, 809-823
- Korhonen J. et al (2001), "Industrial ecosystem and energy flow in the Finnish industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system", *Ecological Economics* 39, 145-161
- Koutinas A.A. et *al.*, (2004). Industrial crops and products. Evaluation of wheat as generic feedstock for chemical production.
- Kwant K.W., Renewable energy in the Netherlands: policy and instruments, *Biomass and Bioenergy*, 24, 235-267, 2003.
- La bioénergie et le développement durable, Dossier environnement : l'énergie verte, un défi pour le XXI ième siècle *Biofutur*, 195, décembre 1999.
- Lafleur M.C.C. and Fraanje P. J. (1997), "Towards sustainable use of the renewable resource wood in the Netherlands - a systematic approach", *Resources, Conservation and Recycling* 20, 19-29
- Lambert, Marie-Thérèse, mémoire, La politique agricole commune et l'avenir de l'agriculture wallonne, 2003.
- Larré C. et *al.*, (2003). Des surfactants " verts " préparés à partir des fractions protéiques industrielles de colza, *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 10 (5), 360-364
- Leaversuch Robert, www.plasticstechnology.com. Renewable PLA polymer Gets "Green Light" for packaging uses.
- Ledent A., Burny P., La politique agricole commune, des origines au 3ième millénaire, Les presses agronomiques de Gembloux, 2002.
- Les nouvelles de l'automne, publication trimestrielle de la direction générale de l'Agriculture, 4ième trimestre 2004.
- Lichtenthaler F. W. et *al.*, (2004). Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry, *C.R. Chimie*, 7, 65 - 90.
- Liu J.W. et *al.*, (2001). Research progresses on degradation mechanism in vivo and medical applications of polylactic acid, *Space Med. Eng.*, 14(4): 308-312
- LMC International Ltd, (2002). Synthèse: structure du marché mondial de l'amidon.
- Lörcks Jürgen, (1998). Properties and applications of compostable starch-based plastic material, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 245-249
- Lorek S. and Spangenberg J. H. (2001), "Indicators for environmentally sustainable household consumption", *International Journal of Sustainable Development* 4, xxx-xxx
- Lowe E. A. (1997), "Creating by-product resource exchanges strategies for eco-industrial parks", *Journal of Cleaner Production* 5, 57-65

- Lunt J., (1998). Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers, *Polym. Degrad. Stab.*, 59, 145-142
- Madsen T. et al., Environmental and health Assessment of Substances in Household Detergents and Cosmetic detergent Products, Project N°615 CETOX
- Maine E. et al. (2005), "Investing in new materials: a tool for technology managers", *Technovation*, in press.
- Mainkar A.R. et al., (2001). *International Journal of Cosmetic Science*, 23, 59 - 62.
- Makovec Tomaz, (2000). Poly-L-glutamic acid and poly-L-lysine: model substances for studying secondary structures of proteins, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 28, 244-247.
- Maneerat S., (2005). Production of biosurfactants using substrates from renewable resources, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 27 (3), 675-683
- Maniatis K. and Millich E., Energy from biomass and waste: the contribution of utility scale biomass gasification plants, *Biomass and bioenergy*, 3, vol 15, 195-200, 1998.
- Marjolijn J., Knot C. et al. (2001), "Flexibility strategies for sustainable technology development", *Technovation* 21, 335-343
- Maxwell D. and van der Vorst R. (2003), "Developing sustainable products and services", *Journal of Cleaner Production* 11, 883-895
- Mecking Stephan, (2004). Nature or Petrochemistry? Biologically Degradable Materials, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43, 1078-1085.
- Meinders H. and Meuffels M. (2001), "Product Chain Responsibility - An Industry Perspective", *Corporate Environmental Strategy* 8, 348-354
- Merja Itavaara and al., Biodegradation of polylactide in aerobic and anaerobic thermophilic condition, *Chemosphere*, 46, 879-885
- Metzger J. O. and Eissen M. (2004), "Concepts on the contribution of chemistry to sustainable development. Renewable raw materials", *C. R. Chimie* 7, 569-581
- Metzger O. Jürgen and Eissen Marco, (2004). Concepts on the contribution of chemistry to a sustainable development. Renewable raw materials. *C.R. Chimie*, 00 000-000
- Meyer N. I., (2003). European schemes for promoting renewables in liberalised markets, *Energy policy*, 31, 665-676.
- Mezzanotte V. et al., (2003). Study on anaerobic and aerobic degradation of different non-ionic surfactants, *Bioresource Technology*, 87, 87 - 91.
- Milius A. et al., (1995). Alkylpolyglycosides: les nouvelles orientations. *OCL* vol. 2 n°3 mai/juin
- Misonne D., Bodard K., Horvat S., Vandewalle L., Pallemmaerts M., Lavrysen L., Sadeleer N., Vademecum des balises juridiques pour une politique fédérale des produits favorable à l'environnement, 2004.
- Mont O. (2004), "Institutionalisation of sustainable consumption patterns based on shared use", *Ecological Economics* 50, 135-153
- Moran M.C. et al., (2004). Enzymatic and physicochemical characterization of glycerol arginine-based surfactants, *C.R. Chimie*, 7, 169-176
- Morthorst P.E., The development of a green certificate market, *Energy policy*, 28, 1085-1094, 2000.
- Mouret S., (2000). Oléochimie, acides et alcools gras : une source irremplaçable de produits chimiques, *Info Chimie Magazine*, 417, 47-61
- Murphy R., Summary report: Biodegradable polymers and sustainability: Insights from Life Cycle Assessment, Imperial College London and Ian Bartle, on behalf of the National Non-foods Crops Centre
- Narajan R., (2004). Drivers & rationale for use of biobased materials based on life cycle assessment (LCA), *GPEC Paper abstract*.
- Narayan R., presentation powerpoint: Biobased Biodegradable Products - an assessment
- Narayanan N. et al., (2004). L(+) lactic acid fermentation and its product polymerisation, *Electronic journal of Biotechnology*, vol. 7 n°2.
- Narayan R. and Patel M., Review and Analysis of Bio-based Product LCA's Nature Works, PLA, Composting Facilities Across the United States.
- Nilsson H., (2004), "What are the possible influences affecting future environmental agricultural policy in the European Union? An investigation into the main factors", *Journal of Cleaner Production* 12, 460-467
- Noiret N. et al., (2002). Tensioactifs à base de substances renouvelables, *Actualité Chimique*, 11 - 12, 70 - 75
- Nolan - ITU Centre for design at MMIT, 11 sept 2003, Final report to Department of the Environmental and Heritage. The impacts of degradable plastic bags in Australia. Excel Plas Australia.

- Onar N., Pamukkale, Usage of Biopolymers in Medical Applications, available on <http://www.ft.vslib.cz/indoczech-conference-proceedings/>
- Oppermann F.B. and *al.*, (1998). Biodegradation of polyamides, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 337-344.
- Ouchi Tatsuro and *al.*, (2004). Preparation of poly(DL-lactide-co-glycolide)-based microspheres containing protein by use of amphiphilic diblock copolymers of decapeptide and lactide having ionic pendant groups as biodegradable surfactants by W/O/W emulsion method, *Polymer*, 45, 1583-1589.
- Painter H.A. et *al.*, (2003). Application of the headspace CO₂ method (ISO 14593) to the assessment of the ultimate biodegradability of surfactants : results of a calibration exercise, *Chemosphere* , 50, 29 - 38.
- Parant B., (). Etude exploratoire des voies permettant d'augmenter la pénétration des tensioactifs d'origine végétale, ADEME, marché n°9801045
- Patel M. et *al.*, (2000). Recycling of Plastics in Germany, *Ressources, Conservation and Recycling*, 29, 65-90.
- Patel M. et *al.*, (2003). Life Cycle Assessment of Biobased Polymers and Natural Fiber Composites, Chapitre dans l'encyclopédie des " Biopolymers ", vol. 10, Wiley-VCH, pp 409 - 452.
- Patel M., (2004). Surfactants Based on Renewable Raw Materials. Carbon Dioxide Reduction Potential and Policies and Measures for the European Union, *Journal of Industrial Ecology*, volume 7, number 3-4.
- Patel M. et *al.*, ()Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres - Revue
- Patel M. et *al.*, (2003). Do biopolymers fulfill our expectations concerning Environmental Benefits ? in *Biodegradable Polymers and Plastics*. Edité par Chiellini and Solaro, pp 83-102
- Patel M. et *al.*, Environmental assessment of biobased polymers and natural fibers (document visible sur internet)
- Patel M.K. et *al.*, (1999). Surfactant production and use in Germany: resource requirements and CO₂ emissions. *Ressources, Conservation and Recycling*, 25, 61-78
- Patel Martin, (2002). Présentation ppt. Renewable Raw Materials as a source for polymers, fibres and lubricants, Trieste - Italy.
- Patton M.Q., (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods*, 2nd edition, Sage Publications, London.
- Pellemans P., (1999). *Recherche qualitative en marketing, perspective psychoscopique*, De Boeck Université, Bruxelles.
- Pennington D.W. et *al.*, (2004), "Life cycle assessment. Part 2: Current impact assessment practice", *Environment International* 30, 721-739
- Petersen Karina and *al.*, (1999). Potential of biobased materials for food packaging, *Trends in Food Sciences & Technology*, 10, 52-68
- PIAZZA Muriel (2004), " Supprimer les sacs de caisse jetables, c'est possible ", étude CRIOC, Du côté des consommateurs, 155.
- Pillai Omathanu and Panchagnula Ramesh, (2001). Polymers in drug delivery, *Curr. Opin. Chem. Biol.*, 5, 447-451
- Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers in Europe), (2004). *Plastics in Europe, An analysis of plastics consumption and Recovery in Europe*.
- Pujari D. et *al.*, (2004), "Organizational antecedents of environmental responsiveness in industrial new product development", *Industrial Marketing Management* 33, 381-391
- Quinn Patton M., *Qualitative Evaluation and Research Methods*, 2nd edition, Sage Publications, London, 1990.
- Ragatz G.L. et *al.*, (1997). "Success factors for integrating suppliers into new product development", *Journal of Product Innovation management* 14, 190-202
- Ramos-Martin J., (2003). "Empiricism in ecological economics: a perspective from complex systems theory", *Ecological Economics* 46, 387-398
- Rapport OCDE, Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle. Développement durable.
- Rebitzer G. et *al.*, (2004). "Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", *Environmental International* 30, 701-720
- Reddy C.S.K., Ghai R. and Kalia V.C., (2003). Polyhydroxyalkanoates: an overview, *Bioresource Technology*, 87, 137-146.
- Reddy N., Yang Y., (2005). Biofibers from Agricultural by-products for industrial applications, *Trends Biotechnol.*, vol. 23, n°1, January 2005

- Reform of the common agricultural policy, medium-term prospects for agricultural markets and income in the European Union 2003-2010, Prospects for agricultural markets in the European Union, déc 2003.
- Reform of the common agricultural policy, medium-term prospects for agricultural markets and income in the European Union 2003-2010, Prospects for agricultural markets in the European Union, déc 2003.
- Règlement (CE) N°648/2004 du parlement européen et du conseil du 31 mars 2004 relatif aux détergents, Journal officiel de l'Union Européenne du 8/4/2004.
- Reinhardt G. and Zemanek G., (1999). Vegetable oils for biofuels versus surfactants: an ecological comparison for energy and greenhouse gases, *Fett-Lipid*, 101 (9), 314-320
- Ren X., (2003). Biodegradable plastics: a solution or a challenge?, *Journal of cleaner Production*, 11, 27-40
- Rennings K., (2000). Redefining Innovation-Eco-Innovation Research and the contribution from Ecological Economics, *Ecological Economics*, 32, 319-332
- Robinson C. J. and Malhotra M. K., (2005), "Defining the concept of supply chain quality management and its relevance to academic and industrial practice", *International Journal of Production economics*, in press
- Ruan Wenquan and *al.*, (2003). Production of biodegradable polymer by *A. eutrophus* using volatile fatty acids from acidified wastewater, *Process Biochemistry*, Volume 39, Issue 3, 28 November 2003, pp 295-299.
- Sander A. et *al.*, (1997). Production and Applications of Protein/Fatty Acid Condensates, abridged version of an article in *Fett/Lipid*, 99, 115
- Schoenberg T, McIntyre Group, Ltd., Formulating with Sodium Cocosulfate, a non-traditional Surfactant.
- Schröder H., (2001). Tracing of surfactants in the biological wastewater treatment process and the identification of their metabolites by flow injection - mass spectrometry and liquid chromatography - mass spectrometry and - tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, 926, 127 - 150,
- Schroeter Johannes, (1998). Creating the framework for a widespread use of biodegradable polymers (standardization, labelling, legislation, biowaste management), *Polymer Degradation and Stability*, 59, 377-381.
- Scott G., (2000). Green polymers, *Polymer degradation and Stability*, 68, 1-7.
- Scott M. J. et *al.*, (2000). The biodegradation of surfactants in the environment, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1508, 235 - 251.
- Seuring S. (2004), "Integrated chain management and supply chain management - Comparative analysis and illustrative cases", *Journal of Cleaner Production* 12, 1059-1071
- Seuring S., Integrated chain management and supply chain management comparative analysis and illustrative cases, *Journal of Cleaner Production*, 12, 1059-1071, 2004.
- Shih I.L. et *al.*, (2004). Microbial synthesis of poly- ϵ -lysine and its various applications, *Bioressour. Technol.*, in press
- Shimao M., Biodegradation of plastics, *Biotechnology*, 12, 242-247
- Shogren R.L. et *al.*, (2003). Biodegradation of starch/polylactic acid/poly(hydroxyester-ether) composite bars in soil, *Polymer Degradation and Stability*, 79, 405-411.
- Smith A. et *al.*, (2001). Waste Management Options and Climate Change, Final Report to the European Commission, DG Environment.
- Simon J. and *al.*, (2003). Thermoplastic and biodegradable polymers of cellulose *Polymer, Degradation and Stability*, 59, 107-115.
- Södergard A. and Stolt Mikael, (2002). Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition, *Prog. Polym. Sci.*, 27, 1123-1163.
- Stalmans M. et *al.*, (1995). European Life-Cycle Inventory for Detergent Surfactants Production, *Tenside Surf. Det.*, 32, 2
- Sterr T. and Ott T. (2004), "The industrial region as a promising unit for eco-industrial development - reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology", *Journal of Cleaner Production* 12, 947-965
- Stevens E.S., (2003). What makes green plastics green?, *Biocycle*, march 2003, 24-27
- Svensson M., (1998). Surfactants based on Renewable Raw Materials. Carbon Dioxide Reduction Potential and Policies and Measures for the European Union, *Journal of Industrial Ecology*, 7 (3-4)
- Système de gestion des marches stratégiques; Rapport technique sur les bioplastiques (2002) par Agriculture et Agroalimentaire Canada

- Szymanski et al., (2003). Determination of non-ionic surfactants and their biotransformation by-products adsorbed on alive activated sludge, *Water Research* 37, 281 - 288
- Tester R.F., Karkalas J., (2002). Starch, in *Biopolymers* edited by Steinbüchel, vol. 6, Polysaccharides II, Germany, edited by Vandamme E.J., De Baets S. and Steinbüchel A., Wiley - VCH, 381-438
- Tharanathan R.N., (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future, *Trends in Food Science & Technology*, 14, 71-78
- Tsuji H. and Suzuyoshi K., (2002). Environmental degradation of biodegradable polyesters. 1. Poly(ϵ -caprolactone), poly[®]-3-hydroxybutyrate, and poly(L-lactide)films in controlled static seawater, *Polymer Degradation and Stability*, 75, 347 - 355.
- Tzillivakis J. et al., (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK, *Agricultural Systems*, 85 (2), 101 - 119
- Van Dam J.E.G. et al., (2005). Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy, *Ind. Crop Prod.*, 21, 129-144
- Van de Velde K. and Kiekens P., (2002). Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications, *Polymer Testing*, 21, 433-442.
- van Hemel C. and Cramer J. (2002), "Barriers and stimuli for eco-design in SMEs", *Journal of Cleaner Production* 10, 439-453
- Van Holderbeke M. and Timmermans V., *Integrated Chain Management by Applying Substance Flow Analysis in the Flemish Region of Belgium*, *International Journal of Corporate Environmental Strategy*, 3, vol 9, 2002.
- Verbruggen A., (2004). Tradable green certificates in Flanders (Belgium), *Energy policy*, 32, 165-176.
- Vert M., (2002). Polymères de fermentation. Les polyacide lactiques et leurs précurseurs, les acides lactiques, *Actual. Chimique*, n°11-12, 79-82
- Vink E. T.H. et al., (2003), "Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production", *Polymer Degradation and Stability* 80, 403-419
- Vink E. T.H. et al., (2004). The sustainability of Nature Works Polylactide Polymers and Ingeo Polylactide Fibers: an update of the future, *Macromolecular Bioscience*, 4, 551-564.
- Vink E.T.H. et al., (2003). Applications of life cycle assessment to Nature Works polylactide (PLA) production, *Polymer Degradation and stability*, 80, 403-419.
- Wang Xiu-Li, Yang Ke-Ke and Wang Yu-Zhong, (2003). Properties of Starch Blends with Biodegradable Polymers, *Journal of macromolecular Science Part C - Polymers Reviews*, Vol. C43, N° 3, pp. 385-409.
- Warner J. C. et al., (2004), "Green chemistry", *Environmental Impact Assessment Review* 24, 775-799
- Warwel S. et al., (2001). Polymers and surfactants on the basis of renewable resources, *Chemosphere*, 43, 39-48
- Weber Claus J. *Biobased Packaging Materials for the Food Industry. Status and Perspectives*
- Witt U. et al., (2001). Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: Evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates, *Chemosphere*, 44, 289-299
- Wolfgang von Rybinski and Karlheinz Hill, (1998). Alkylpolyglycosides, in *Novel Surfactants, Preparation, Applications, and Biodegradability*, *Surfactant Science Series*, vol. 74 ed. By Krister Holmberg, pp 31-85
- Wüstenhagen R., Maskard J., Truffer B (2003), "Diffusion of green power products in Switzerland", *Energy Policy* 31, 621-632
- Xiu-Li W. et al., (2003). Properties of Starch blends with biodegradable Polymers, *J. Macromol. Sci., Part C - Polymer Reviews*, vol. C43, N°3, 385-409
- Yang P. P.-J. and Lay O. B. (2004), "Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: a case study of Singapore's Jurong Island", *Journal of Cleaner Production* 12, 1011-1023
- Zhu Q. and Cote R.P., (2004). Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group, *Journal of Cleaner Production*, 12, 1025-1035.
- Zilahy G., (2004). Organisational factors determining the implementation of cleaner production measures in the corporate sector, *Journal of Cleaner production*, 12, 331-319.

Les sites internet:

<<http://www.france.diplomatie.fr/solidarite/agriculture/agriculture/Fiche8.htm>

<http://www.europarl.eu.int/factsheets/4_1_7_fr.htm

<http://agri-alim.redev.info/Doc/docs/fiche_solagral/Fiche%2001.pdf

<<http://www.ecoconso.org>

<<http://www.ecogestion.be>

<<http://www.europa.eu.int>
<<http://www.moniteur.be>
<<http://www.roquette.fr/>
<<http://www.statbel.fgov.be/>, (2005)
<<http://www.natureworkslc.com/>, (2005)
<<http://www.arkhe.net/> (2005)
<<http://www.biopolymers.nl>, 2005
<<http://www.fujitsu.com/global/news/pr/archives/month/2005/20050113-01.html>, (2005)
<<http://www.innoviafilms.com/> (2005)
<<http://www.natureworkslc.com/> (2005)
<<http://www.nodax.com/> (2005)
<<http://www.novamont.com/> (2005)
<<http://www.omnexus.com/> (2005)
<<http://www.toyota.co.jp/en/environment/recycle/design/recycle.html>, (2005)
<http://www.panbelgium.be/2_approfondir/politique_agricole_commune_2.htm
<http://www.frw.be/html/presentation_europe.html#impact
<<http://www.euopal.eu.int/factsheets/4-1-7-fr.htm>
(Carte tirée de <http://www.idearts.com/city/>)
<http://europa.eu.int/comm/enterprise/environment/index_home/emantool_indic_prodrel_vap_pr/polymer.htm)
<<http://wallex.wallonie.be/>, (2005)
<<http://www.solsoc.be/article216.html>

LISTE DES ANNEXES

ANNEXES

I. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1A : Applications industrielles de l'amidon (site de www.roquette.fr/)
Tableau 2A : Les secteurs d'applications des huiles et leurs dérivés (Mouret S., 2000)
Tableau 3A : Les matières premières issues des ressources renouvelables d'origine végétale et leurs utilisations
Tableau 4A : Applications potentielles des polymères à base de protéine de soja (www.agr.gc.ca/misb/spec/bio/pdf/textiles_f.pdf)
Tableau 5A : Les classes de tensioactifs, les propriétés et leurs applications
Tableau 6A : Les tensioactifs d'origine végétale
Tableau 7A : Relevé des produits de vaisselle à la main et shampoings
Tableau 8A : Quelques tensioactifs d'origine renouvelable dans les formulations shampoings
Tableau 10A : Les polymères biodégradables, les applications et leurs producteurs
Tableau 11A : Applications emballages films et sacs à base de MATER-BI et Natureworks
Tableau 12A : Liste des firmes interviewées
Tableau 15A : Comparaison des Analyses de cycle de vie de films à base de MATER-BI et de PE

II. LISTE DES FIGURES

Figure 1A : Répartition géographique des agriculteurs interrogés
Figure 3A : Synthèse de AES
Figure 4A : Etapes de production des alcools gras ethoxylés
Figure 5A : Schéma de production d'alkylpolyglycosides
Figure 6A : Schéma de production des alkylglucamides
Figure 7A : Schéma de production de polylactides
Figure 8A : Schéma de production des polymères à base d'amidon
Figure 9A : Production de polycaprolactone

Figure 10A : Schéma de production de Polybutylène Succinate

Figure 11A : Cartographie des points de prélèvement et les valeurs des tensions de surface

III. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1A. EXEMPLE DE FORMULATIONS DE PRODUITS VAISSELLES À LA MAIN ET SHAMPOOINGS

2A. LES DIFFERENTS TYPES DE POLYMERES

3A. LES CARACTÉRISTIQUES DES POLYMÈRES

4A. QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES AGRICULTEURS

5A. GUIDE D'ENTRETIEN POUR LES ENTREPRISES

6A. QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES CONSOMMATEURS

7A. ETUDE SUR LES DÉTERGENTS À BASE D'INGRÉDIENTS ISSUS DE PLANTES

8A. LES NORMES ET TESTS DE BIODÉGRADATION DES TENSIOACTIFS

9A. LES TESTS DE CONTRÔLE DE LA BIODÉGRADATION DES POLYMÈRES

10A. LES VOIES DE BIODÉGRADATION DES TENSIOACTIFS

11A. LA DÉGRADATION DES POLYMÈRES

12A. LA NORME EN 13432

13A. ANALYSE DE CYCLE DE VIE

14A. ANALYSE DES ACV DISPONIBLES SUR LES POLYMÈRES À BASE D'AMIDON (MATER-BI) ET LE PLA (NATUREWORKS)

15A. ANALYSE DE CYCLE DE VIE DES SURFACTANTS

16A. PROTOCOLES DE MISE EN ÉVIDENCE DES TENSIOACTIFS ET DOSAGE DE LAS

Les annexes sont téléchargeables sur le site de la Politique scientifique fédérale, à l'adresse suivante :

www.belspo.be, rubrique FEDRA, Actions de recherche CP, CP-45