

Université de Lille 2 Faculté Ingénierie et Management de la Santé (ILIS)

Master Ingénierie de la Santé

Parcours Evaluation et Gestion des Risques Sanitaires Environnementaux et Professionnels

Mémoire de fin d'études de la 2^{ème} année de Master

ETAT DES LIEUX DES REGLEMENTATIONS PRODUITS, SUBSTANCES ET DECHETS ET ETUDE DE LEURS IMPACTS SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE ET LE RECYCLAGE DES MATIERES PLASTIQUES

Sous la direction d'Arnaud Parenty

Jury :

Président du jury : Franck-Olivier DENAYER,
Maitre de Conférences en Toxicologie de
l'Environnement et Ecotoxicologie

Directeur de mémoire : Arnaud PARENTY,
Maitre de Conférences et chargé de missions
« économie circulaire »

3e jury : Florence DE MENGIN FONDRAGON,
Responsable achat, traitement et recherche
et développement à Valdelia



Faculté Ingénierie et
Management de la Santé - ILIS
42 rue Ambroise Paré 59120
LOOS

Année 2016-2017

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier tout d'abord mon directeur de mémoire, le Docteur Arnaud PARENTY pour son suivi et ses conseils avisés tout au long de ce mémoire.

J'aimerais également remercier Madame Claire DADOU WILLMANN, Délégué Général chez 2ACR (Association Alliance Chimie Recyclage), pour son regard porté sur ce travail ainsi que Madame Florence DE MENGIN FONDRAGON, Responsable achat, traitement et recherche et développement à Valdelia, pour avoir accepté d'être le 3e membre du jury lors de la soutenance de ce mémoire.

Enfin, je tiens à remercier le Docteur Franck-Olivier DENAYER, Doyen de la Faculté ILIS qui a accepté d'évaluer ce mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. Réglementations	3
I.1. Réglementations européennes sur les substances chimiques	3
I.1.1 Historique des réglementations liées aux substances chimiques	3
I.1.2 REACH	4
I.1.3 Règlement CLP	12
I.1.4 Réglementation Polluants Organiques Persistants (POP)	12
I.2. Réglementations européennes sur les produits	13
I.2.1. Directive RoHS	13
I.2.2 Directive ECODESIGN	15
I.3 Réglementations européennes sur les déchets	16
I.3.1 Historique des réglementations déchets en lien avec les substances chimiques	16
I.3.2 Directive cadre sur les déchets	17
I.3.3 Directive Déchets d'Équipements Electriques et Electroniques	22
I.3.4 Directive Véhicule Hors d'Usage	23
I.3.5 Directive emballages et déchets d'emballages	24
I.3.6 Stratégie en matière de gestion des déchets plastiques et futures réglementations	25
II. Les plastiques	28
II.1. Du monomère au plastique	28
II.1.1 La fabrication du plastique	28
II.1.2 L'incorporation d'adjuvants	30
II.1.3 Les différents types de plastiques	34
II.2 Identification des principales substances dangereuses présentes dans les plastiques	40
II.2.1 Méthode de sélection et de recherche des substances dangereuses	40
II.2.2 Tableau des principales substances dangereuses	41
II.2.3 Etude des données recueillies	41
III. Les freins au développement de l'économie circulaire des plastiques induits par la présence de substances héritées du passé et maintenant réglementées	43
III.1 Limites au niveau réglementaire	43
III.1.1 Orientation de la réglementation	43
III.1.2 Recyclage des plastiques dangereux	44
III.1.3 Objectifs de recyclage	45
III.1.4 Pistes pour gérer les limites réglementaires	46

III.2. Limites au niveau technique	49
III.2.1. La composition des plastiques	49
III.2.2 Le recyclage	53
III.2.3 L'incinération	55
III.2.4 L'enfouissement et la dispersion des substances dans l'environnement	61
III.2.5 La sortie du statut de déchet	62
III.2.6 La gestion des « nouveaux déchets dangereux »	63
III.2.7 Pistes pour gérer les limites techniques	64
III.3. Limites au niveau économique	66
III.3.1 La viabilité économique du recyclage.....	66
III.3.2 Les conséquences économiques de la gestion des substances dangereuses .	69
III.3.3 Les dérives de la gestion des substances dangereuses	70
III.3.4 Pistes pour gérer les limites économiques	71
CONCLUSION	74
BIBLIOGRAPHIE	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma récapitulatif du fonctionnement du REACH	9
Figure 2 : Calendrier de l'avancement des enregistrements dans le cadre de REACH.....	10
Figure 3 : Feuille de route SVHC	11
Figure 4 : Structure amorphe et structure semi-cristalline des polymères	30
Figure 5 : Formule du carbonate de calcium.....	30
Figure 6 : Formule chimique du Triméthyl trimellitate	32
Figure 7 : Formule chimique du Bis(2-ethylhexyl) adipate	32
Figure 8 : Formule chimique générale des PBDE	33
Figure 9 : Comparaison de l'effet de la température sur l'élasticité d'un plastique amorphe et d'un plastique semi-cristallin	34
Figure 10 : Formule de polymérisation du polyéthylène	35
Figure 11 : Formule de polymérisation du polypropylène	36
Figure 12 : Formule de polymérisation du polycarbonate	36
Figure 13 : Formule de polymérisation du polystyrène	37
Figure 14 : Formule de polymérisation du polyéthylène téréphtalate.....	37
Figure 15 : Formule de polymérisation du PVC	38
Figure 16 : Formule de polymérisation du polyuréthane	39
Figure 17 : Formule simplifiée de la polymérisation des polyesters insaturés	39
Figure 18 : Formule de polymérisation du polyuréthane	39
Figure 19 : Nombre de substance ou groupe de substances par type d'utilisation	42
Figure 20 : Évolution des quantités de déchets plastiques de 2006 à 2014 en Europe en fonction du devenir des déchets	43
Figure 21 : Schéma de principe d'un spectromètre à transformée de Fourier	50
Figure 22 : Schéma de principe de l'Analyse directe par spectrométrie de masse couplée à la mobilité ionique	50
Figure 23 : Schéma de principe de la spectroscopie par fluorescence X	51
Figure 24 : Schéma de principe de la spectroscopie du plasma induit par laser	51
Figure 25 : Émissions atmosphériques en dioxines en tonne de 1990 à 2016 en France métropolitaine	56
Figure 26 : Émissions atmosphériques de cadmium en tonne de 1990 à 2016 en France métropolitaine	58
Figure 27 : Différentes classes de mâchefers et possibilité de gestion.....	59
Figure 28 : Marges des recycleurs de plastiques français	67
Figure 29 : Prix du baril de pétrole de 2002 à 2014 (en USD/baril) à gauche et prix du polypropylène de 2002 à 2014 à droite (en euros/tonne).....	68
Figure 30 : Flux de déchets plastiques en France par origine (tonnes) en 2012	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Catégories CMR de la classification CLP	7
Tableau 2 : Devenir des déchets plastiques en fonction des substances présentes selon les réglementations POP, REACH et CLP.....	52
Tableau 3 : Description des principaux procédés utilisés en centre d'incinération pour la gestion des substances dangereuses.....	60
Tableau 4 : Ecoprofils du PVC recyclé (R-PVC) et du PVC fabriqué à partir de résines vierges. UD signifiant « unité définie » soit 1kg dans ce tableau.	66

GLOSSAIRE

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

AEE : European Environment Agency

AoA : Analysis Of Alternatives

BBP : Benzyle butyle phtalate

CE : Commission européenne

CEE : Commission Economique pour l'Europe

CET : Centre d'enfouissement technique

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CLP : Classification, Labelling, Packaging

CMR : Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique

CoRAP : Community Rolling Action Plan

CSR : Chemical Safety Report

DASRI : Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux

DBP : Phtalate de dibutyle

DEEE : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques

DEHA : Bis(2-ethylhexyl) adipate

DEHP : Bis(2-éthylhexyle) phtalate

DIB : Déchets industriels banals

DID : Déchets industriels dangereux

DOA : Dioctyl adipate

ECHA : European CHemical Agency

EEE : Equipements Electriques et Electroniques

EINECS : European INventory of Existing Commercial Substances

FDS : Fiches de Données de Sécurité

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HBCDD : Hexabromocyclododécane

HCB : Hexachlorobenzène

INERIS : Institut National de l'ENvironnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

MIOM : Mâchefers d'incinération des ordures ménagères

PBB : Polybromobiphényles

PBDD : Dibenzo-p-dioxines

PBDE : Polybromobiphényléthers
PBDF : Dibenzofuranes polybromés
PBT : Persistant, bioaccumulable, toxique
PC : Polycarbonate
PCB : Polychlorobiphényles
PCT : Polychloroterphényle
PE : Polyéthylène
PEBD : Polyéthylène Basse Densité
PEHD : Polyéthylène Haute Densité
PET : Polyéthylène téréphtalate
PME : Petites et Moyennes Entreprises
POP : Polluants Organiques Persistants
PP : Polypropylène
PS : Polystyrène
PUR : Polyuréthane
PVC : Polychlorure de vinyle
REACH : Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals
REC : Risk Evaluation Comity
REFIOM : Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères
RMO : Risk Management Options
RoHS : Restriction of Hazardous Substances
SEA : Socio Economical Analysis
SEAC : Socio Economical Analysis Comity
SGH : Système Général Harmonisé
SVHC : Very High Concerns Substances
UE : Union européenne
VHU : Véhicules Hors d'Usage

INTRODUCTION

L'économie circulaire désigne un concept économique qui vise, à tous les stades de la vie d'un produit, à optimiser l'utilisation des ressources, à favoriser l'utilisation des déchets pour former de nouvelles matières premières, et à réduire l'impact du produit sur l'environnement.

La réglementation européenne était basée il y a encore quelques années exclusivement sur une économie linéaire, avec d'importantes consommations de ressources, d'énergie et une production élevée de déchets incinérés ou mis en décharge, sans valorisation énergétique. Au travers des réglementations telles que le paquet économie circulaire et la directive-cadre sur les déchets, l'Union européenne affiche sa volonté de faire la transition vers une économie circulaire et de faire du recyclage des déchets une priorité.

Avec une production de 25 millions de tonnes de déchets en 2015 et une économie du recyclage encore jeune mais en pleine expansion, le secteur du plastique est particulièrement concerné par cette transition [1]. En 2014, environ 30% des plastiques étaient recyclés, le reste étant incinéré (40%) ou envoyé en centre d'enfouissement (30%).

En parallèle de la transition vers une économie circulaire, l'Union européenne a mis en place en 2006 la réglementation REACH pour l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques. L'objectif de cette réglementation est d'identifier les substances chimiques importées et produites en Europe, évaluer les risques pour la santé humaine ou l'environnement d'une exposition à ces substances et statuer sur le fait d'autoriser ou d'empêcher leur circulation dans l'Union européenne.

De nombreux additifs sont utilisés lors de la fabrication des plastiques afin de leur donner les propriétés souhaitées. Il peut s'agir de plastifiants, de retardateurs de flammes ou encore de stabilisants. Diverses substances, dont certaines sont héritées du passé et ne sont plus utilisées lors de la fabrication du plastique, sont aujourd'hui soupçonnées ou reconnues comme étant dangereuses pour la santé humaine ou l'environnement. Leur présence dans les plastiques pose donc la question de leur devenir lorsque ceux-ci intègrent la filière déchets. Si les substances concernées sont trop dangereuses ou présentes en quantité trop importante dans les plastiques, ceux-ci peuvent être considérés comme dangereux et être réglementés. Les déchets sont classés comme dangereux s'ils présentent une ou plusieurs propriétés de dangers (cancérogène, explosifs, nocif...). Les

déchets plastiques contenant des substances réglementées en concentration supérieure à la réglementation doivent alors suivre des filières de traitement spécialisées et ne peuvent pas être réutilisés dans les filières de recyclage.

La présence de substances dangereuses dans les plastiques et les obligations des professionnels du secteur pour être en conformité avec les différentes réglementations nous amènent à nous interroger sur la question suivante :

A quelles difficultés sont exposées les entreprises du secteur de la revalorisation des déchets plastiques et de la plasturgie lors de la gestion des plastiques contenant des substances préoccupantes pour la santé humaine et l'environnement et réglementées ?

Pour répondre à cette problématique, nous étudierons dans un premier temps les principales réglementations qui concernent les substances chimiques, les produits et les déchets. Les obligations des entreprises en termes de gestion des substances dangereuses et des déchets seront également passées en revue.

Nous déterminerons dans un second temps les types de plastiques concernés par la présence de substances réglementées héritées du passé ainsi qu'une liste détaillée de ces substances et de leurs propriétés.

Enfin, les limites et contraintes auxquelles sont exposés les professionnels du secteur seront étudiées et des pistes permettant de les dépasser seront proposées.

I. Réglementations

I.1. Réglementations européennes sur les substances chimiques

I.1.1 Historique des réglementations liées aux substances chimiques

La première réglementation visant à classer et à étiqueter les substances chimiques dangereuses en Europe est entrée en vigueur le 27 juin 1967 via la directive 67/548/CEE [2]. Elle énonçait, entre autres, les critères généraux de classification et d'étiquetage des substances, les phrases de risque permettant d'indiquer le danger induit par la substance et les symboles et indications de danger. Elle fut complétée par la suite en 1988 par la directive 88/379/CEE (introduisant la notion de « préparations ») [3]. Ce texte fut abrogé et remplacé le 1er juin 2015 par le règlement CLP et son Système Général Harmonisé.

En 1976, la directive « Limitations » (directive 76/769/CEE) permit de limiter la mise sur le marché ou l'emploi des substances et préparations dangereuses telles que les polychlorobiphényles (PCB), les polychloroterphényles (PCT) ou encore le chlorure de vinyle [4].

En 1979, la directive 79/831/CEE permit d'introduire la notion de substance chimique nouvelle [5]. Ainsi les substances non mentionnées dans l'inventaire EINECS (European Inventory of Existing Commercial Substances), qui fut réalisé en 1981, furent considérées comme « Nouvelles » et devaient être notifiées aux autorités nationales avant sa mise sur le marché par le fabricant ou l'importateur. Un dossier technique devait également être réalisé afin d'évaluer les risques liés à son utilisation.

En 1993, le règlement 793/93/CE fut promulgué afin d'améliorer l'évaluation des risques des substances existantes [6]. Quatre listes de substances (141 en tout) particulièrement préoccupantes ou utilisées à plus de 1 000 tonnes par an furent établies. Il fut demandé aux fabricants et importateurs de fournir les informations sur ces substances et aux autorités compétentes des États membres d'évaluer les risques qu'elles faisaient encourir.

En février 1999, les différentes parties concernées furent consultées afin de faire un bilan de la législation et mettre en lumière les limites et la lenteur du système et la nécessité de réformer le cadre réglementaire. Suite à ce bilan, un livre blanc fut publié par la Commission européenne en février 2001 concernant la stratégie à adopter dans le

domaine des substances chimiques [7]. Le principal point à retenir de ce livre blanc est la volonté de l'Union européenne de :

- Mettre en place des procédures et lignes directrices claires et uniformes permettant l'évaluation des risques,
- Mettre en place un cadre législatif dans les plus brefs délais,
- Augmenter l'expertise des instituts de recherche publics chargés de vérifier les données fournies par les entreprises,
- Une coopération totale entre les États membres afin de regrouper les connaissances et faciliter les évaluations des risques.

Le livre blanc sert de base à la Commission européenne pour formuler la réglementation REACH.

I.1.2 REACH

Description

REACH est un règlement du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne adopté le 18 décembre 2006 et entré en vigueur le 1er juin 2007 dont l'objectif est de protéger la santé humaine et l'environnement des substances chimiques dangereuses [8].

Le règlement s'applique à toutes les substances chimiques, qu'elles soient utilisées en industrie, présentes dans des produits tels que les meubles, les vêtements et les plastiques hors :

- Substances radioactives,
- Mélanges ou articles en transit vers des pays n'appliquant pas le règlement REACH,
- Déchets tels que définis dans la directive 2006/12/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets qui ne sont pas considérés comme étant un mélange ou un article,
- Mélanges ou articles jugés nécessaires par un gouvernement pour les intérêts de sa défense,
- Médicaments à usage humain et à usage vétérinaire,
- Produits cosmétiques,
- Denrées alimentaires et aliments pour animaux.

Le règlement oblige les fabricants, importateurs et utilisateurs de ces substances à prouver leur innocuité ou, dans le cas de substances dangereuses, identifier les risques liés à leur fabrication, au stockage et à leur utilisation via des études de risques sur la santé humaine et sur l'environnement. Ces informations sont transmises à l'ECHA, (European CHemical Agency), l'Agence Européenne des Produits Chimiques qui enregistre les molécules et confie les dossiers d'enregistrement aux différentes agences sanitaires compétentes des pays membres de l'Union européenne.

Lors de l'écriture de ce mémoire, le nombre de substances enregistrées dans REACH était de plus de 16 000 et 61 000 dossiers avaient été déposés.

Le fonctionnement du règlement REACH peut être séparé en plusieurs parties :

- L'identification de la substance,
- L'enregistrement,
- L'évaluation,
- L'autorisation,
- La restriction.

L'identification de la substance

L'objectif de cette étape est d'établir l'identité de la substance. Cette identification permet de préparer les enregistrements en réunissant les principales informations sur celles-ci (nom chimique, numéro CE, composition chimique...) [9].

L'enregistrement

Les demandeurs d'enregistrement sont obligatoires pour les mélanges et articles produits ou importés dont le volume annuel est supérieur à une tonne par an. Les dossiers d'enregistrement doivent contenir les informations concernant le danger de la substance considérée, l'évaluation des risques relatifs à son utilisation et les recommandations permettant de maîtriser les risques identifiés.

Les producteurs, importateurs et utilisateurs peuvent réaliser des dossiers d'enregistrement communs afin de centraliser les informations, obtenir des dossiers complets et ainsi faciliter la prise de décision de l'ECHA.

L'enregistrement peut ainsi être réalisé par plusieurs déclarants. Le dossier d'enregistrement est tout d'abord soumis par un seul déclarant nommé "déclarant

principal". Les autres déclarants peuvent décider de soumettre leur déclaration ultérieurement ou bien de fournir les informations via le déclarant principal. Ces dispositions permettent aux entreprises de gérer les coûts des enregistrements, de préserver des informations sensibles et de prendre de la distance avec le déclarant principal en cas de désaccord.

Le dossier d'enregistrement de la substance doit se faire via IUCLID, un logiciel qui permet de saisir, stocker et gérer les informations concernant les substances chimiques. Une fois le dossier terminé, le logiciel REACH-IT doit être utilisé afin de le soumettre à l'ECHA [10].

Au 01/08/2017, 51500 enregistrements avaient été effectués pour un total de 11200 substances uniques. Les enregistrements sont réalisés par les fabricants (36%), les importateurs (28%), des représentants de fabricants ne faisant pas partie de l'Union européenne (26%) ou un enregistrement conjoint des fabricants et des importateurs (10%) [11].

L'évaluation

Suite au dépôt du dossier d'enregistrement par le ou les déclarants, l'ECHA et les États membres évaluent les informations fournies par les entreprises afin de déterminer si celles-ci sont présentes en quantité et en qualité suffisantes. L'évaluation des dossiers se fait selon 3 principaux axes :

- La vérification des tests proposés par les déclarants,
- La conformité des dossiers soumis par les déclarants,
- L'évaluation de la substance.

L'autorisation

L'autorisation a pour objectif final d'interdire les substances extrêmement préoccupantes (SVHC) et de leur trouver des alternatives viables aussi bien au niveau sanitaire, technique et économique. Ces substances sont listées dans l'annexe XIV du règlement.

En fonction des données issues des évaluations des risques, l'ECHA peut répartir les différentes substances en 4 groupes :

- Les substances cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) de catégorie 1A, 1B ou 2. Ces substances favorisent ou sont soupçonnées de favoriser l'apparition de cancers, de mutations ou d'être toxiques pour la reproduction. Le classement CLP répartit ces substances en 3 catégories (tableau 1).

Tableau 1 : Catégories CMR de la classification CLP

Catégorie	Signification
Catégorie 1A	Effet CMR avéré pour l'homme
Catégorie 1B	Effet CMR présumé pour l'homme
Catégorie 2	Effet CMR suspecté pour l'homme

- Les substances persistantes, bioaccumulables et toxiques (PBT). Celles-ci ne sont pas facilement dégradables dans l'environnement ce qui leur permet de s'y accumuler très facilement. Elles sont de plus capables de s'accumuler dans les organismes vivants tels que les plantes, les animaux ou l'Homme. Enfin, une exposition chronique ou aiguë à ces substances entraîne l'apparition d'effets toxiques.
- Les substances très persistantes et très bioaccumulables (vPvB). Tout comme les substances PBT, les vPvB sont persistantes et bioaccumulables. Néanmoins leurs effets toxiques sur les organismes ne sont pas reconnus.
- Les substances suscitant un niveau de préoccupation équivalent.

Lorsqu'une substance est incluse dans l'annexe XIV de REACH, des dispositions transitoires sont prises afin que les fabricants, importateurs et utilisateurs puissent se préparer à son interdiction. Ainsi, des dates à partir desquelles la mise sur le marché et l'utilisation sont interdites (sauf autorisation) sont communiquées, il s'agit des dates limites d'utilisation (également appelées dates d'expiration). Les parties intéressées peuvent également formuler une demande d'autorisation d'utilisation et de mise sur le marché de la substance [12].

La demande d'autorisation est constituée de trois parties :

- Le rapport sur la sécurité chimique (CSR). Une évaluation des expositions ainsi que l'évaluation des dangers pour l'Homme et pour l'environnement sont réalisées afin

de caractériser le risque. Des mesures de gestion sont ensuite décidées de manière à ce que les risques liés à l'utilisation de la substance soient maîtrisés.

- L'analyse des alternatives (AoA). Le demandeur doit tout d'abord indiquer dans quelle mesure la substance concernée est indispensable à son activité. Il doit ensuite identifier les alternatives viables et déterminer si celles-ci sont adaptées.
- L'analyse socio-économique (SEA). Cette analyse se penche sur l'impact au niveau des fabricants et importateurs de la substance avec par exemple l'incidence sur les investissements, les coûts de fonctionnement ou encore la recherche et le développement. Elle s'intéresse également à l'impact sur le consommateur à travers les effets sur la santé et l'environnement mais également les prix des produits et leur efficacité.

Le dossier est instruit par le Comité d'Évaluation des Risques (REC) et le Comité d'Analyse Socio-Economique (SEAC). Toute partie intéressée (ONG, entreprises...) peut consulter le dossier et le commenter [13].

Une demande d'autorisation peut être acceptée si :

- Les risques liés à l'utilisation de la substance sont valablement maîtrisés par le demandeur,
- Il est démontré que les avantages socio-économiques l'emportent sur les risques provoqués par l'utilisation de la substance sur la santé humaine ou l'environnement,
- Il n'existe pas d'alternative techniquement et économiquement viable à la substance.

À compter de la date d'expiration, seuls les demandeurs dont la demande d'autorisation a été validée et celle dont la demande est en cours d'étude sont autorisés à mettre la substance sur le marché.

La liste d'autorisation comprend au 01/08/2017 43 substances ou groupes de substances et 173 substances sont candidates en vue d'une autorisation.

La restriction

La restriction d'une substance permet de limiter voire d'interdire la fabrication, la mise sur le marché ou l'utilisation d'une substance qu'elle soit incluse dans un mélange ou

dans un article. Les États membres ont la possibilité de proposer des restrictions s'ils estiment qu'une substance expose la santé humaine ou l'environnement à un risque jugé inacceptable.

L'agence rendra son avis quant à la restriction de cette substance suite aux analyses apportées par les déclarants et à l'analyse socio-économique indispensable afin d'évaluer l'impact de la restriction de la substance concernée.

Suite à ces différentes analyses, l'Agence rend ses conclusions et indique les conditions de limitation affectées à la substance. Ces restrictions peuvent être retrouvées en ANNEXE XVII du règlement REACH (figure 1) [8].

La liste de restriction est disponible en annexe XIV du règlement REACH et comprend 67 substances ou groupes de substances au 01/08/2017.

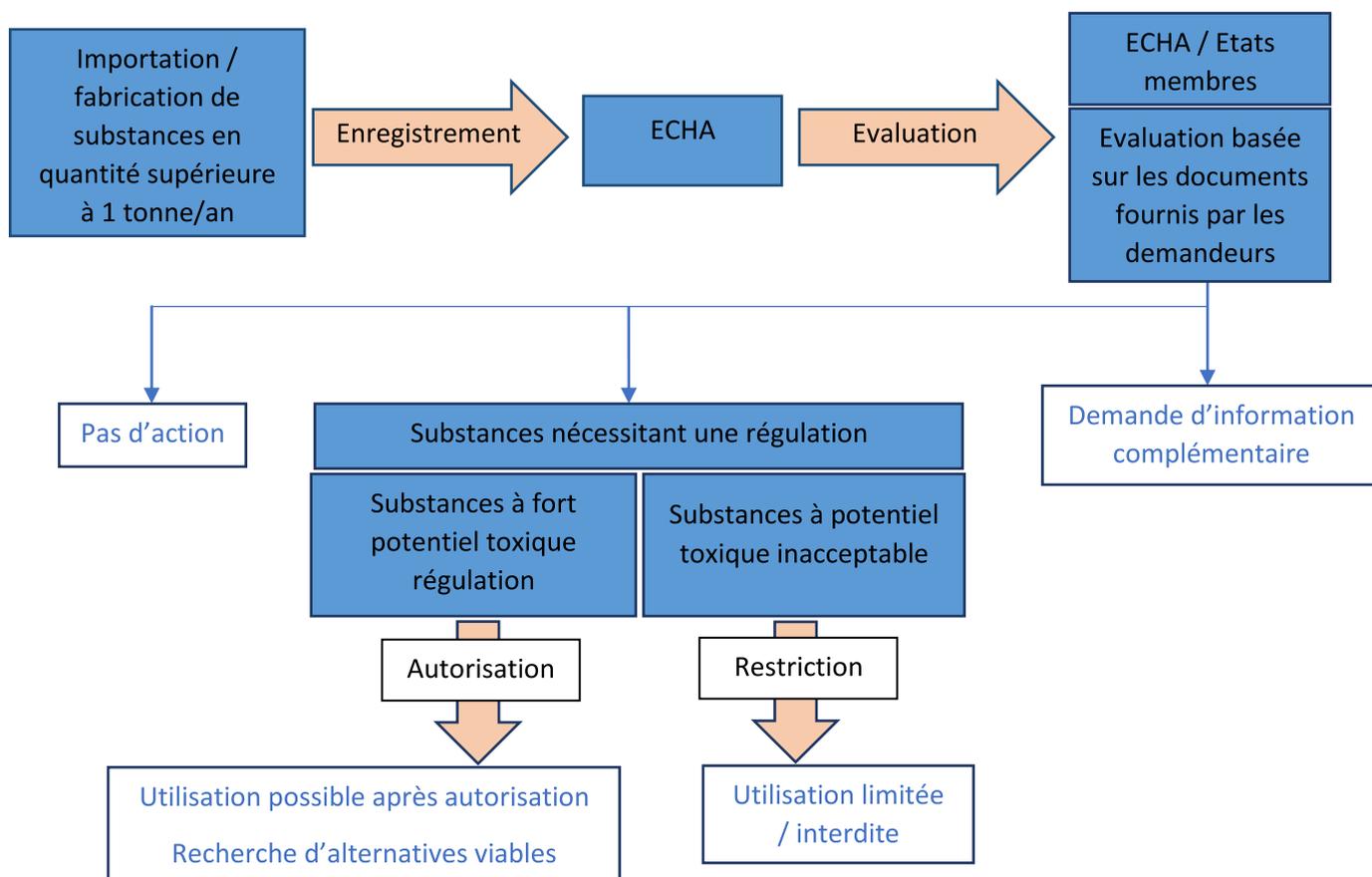
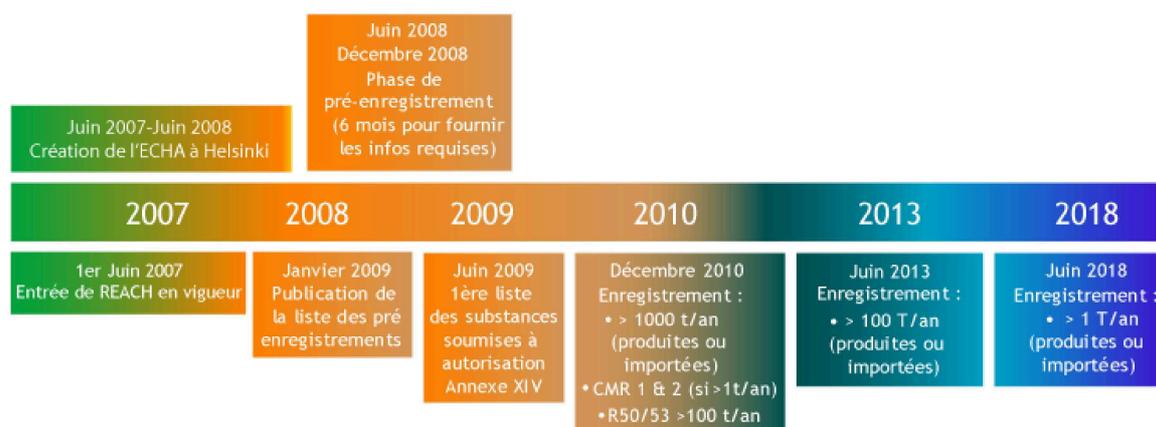


Figure 1 : Schéma récapitulatif du fonctionnement du REACH

La feuille de route de REACH

Suite à l'entrée en vigueur de REACH, une phase de préenregistrement a eu lieu jusqu'en janvier 2009. En juin 2009, une première liste des substances soumises à

autorisation (annexe XIV du règlement REACH) fut publiée. Les enregistrements des substances se faisaient par la suite en fonction du tonnage produit ou importé par an. Ainsi, les substances produites ou importées à un tonnage supérieur à 1000 tonnes par an devaient être enregistrées avant décembre 2010, celles de plus de 100 tonnes par an avant juin 2013 et celles de plus d'une tonne par an devront être enregistrées avant juin 2018. Après quoi, les procédures d'enregistrement concerneront principalement les nouvelles substances (figure 2).



- CMR : Substances Cancérigènes, Mutagènes, Reprotoxiques
- R50/53 : Substances classées comme très toxiques pour les organismes aquatiques et qui peuvent causer des dommages à long terme dans l'environnement aquatique.

Figure 2 : Calendrier de l'avancement des enregistrements dans le cadre de REACH [14]

La feuille de route de REACH prévoit que d'ici 2020, toutes les SVHC connues soient incluses dans la liste candidate en vue d'une autorisation [15]. Un screening des substances est réalisé par les autorités publiques compétentes afin d'analyser les SVHC jusque-là identifiées mais également de potentielles nouvelles SVHC provenant des enregistrements et évaluations de REACH. Les États membres peuvent par la suite conduire une analyse RMO (Risk Management Options), dont l'objectif est d'identifier les meilleures options permettant de gérer le risque, que ce soit dans REACH ou à travers une autre législation [16]. Les substances qui sont évaluées sont listées dans le CoRAP (Community Rolling Action Plan), le plan d'action communautaire [17]. Cette liste permet aux entreprises de suivre l'avancement de l'évaluation faite par les États membres (figure 3).

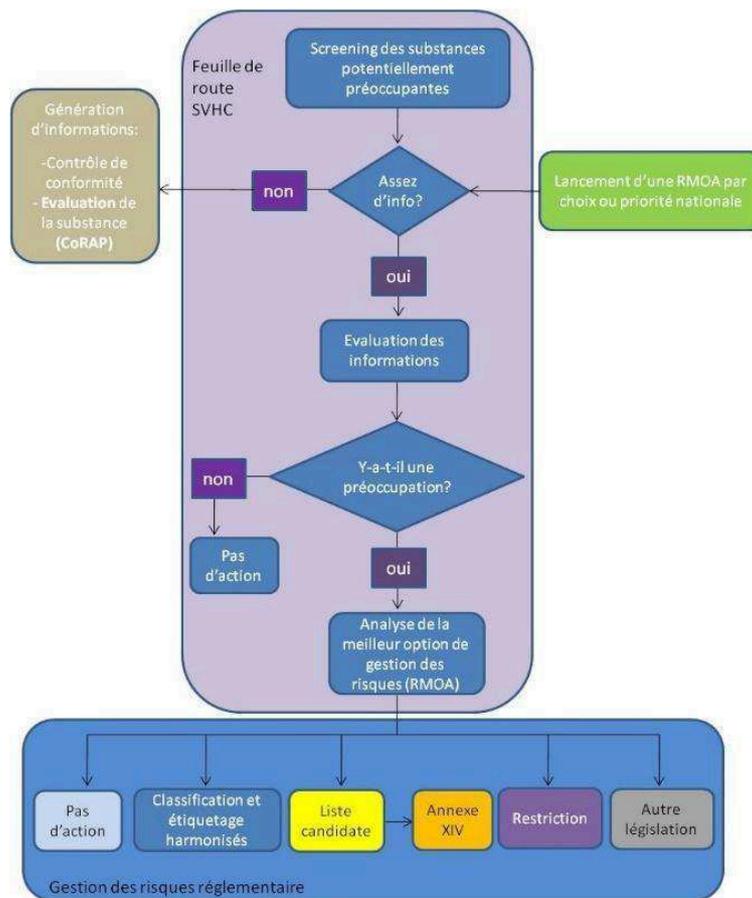


Figure 3 : Feuille de route SVHC [18]

Relation entre la directive et la filière plastique

Les entreprises de l'industrie du plastique sont directement concernées par REACH. Les procédés de fabrication du plastique demandent en effet l'utilisation de nombreuses substances chimiques. Certaines qui étaient utilisées autrefois de manière systématique sont aujourd'hui interdites (Bisphénol A, DEHP...).

Les fabricants ont l'obligation de suivre les listes de restriction et d'autorisation et d'adapter leurs procédés de fabrication pour les respecter en utilisant des substances alternatives viables du point de vue sanitaire, technique et économique. Ils ont également l'obligation de fournir les Fiches de Données de Sécurité (FDS) des substances utilisées et se conformer à la réglementation CLP. De plus, si une substance de la liste candidate est présente dans un article à une concentration supérieure à 0,1%, le fournisseur a l'obligation d'en informer ses clients.

Les enjeux pour les professionnels du secteur sont donc importants et la mise en place d'une veille réglementaire est essentielle pour suivre l'avancement des évaluations des différentes substances.

I.1.3 Règlement CLP

Le règlement (CE) n° 1272/2008 CLP (classification, étiquetage et emballage) entré en vigueur pour les substances le 1er juin 2015 permet l'application du Système Général Harmonisé (SGH), un système international d'étiquetage des matières dangereuses. L'objectif du SGH est de garantir la protection de la santé humaine et de l'environnement ainsi que la libre circulation des substances, mélanges et articles. Pour cela, le SGH répartit les produits en classes de danger. Il en existe 27 à l'heure actuelle : les dangers physiques (16 classes), les dangers pour la santé (10 classes) et les dangers pour l'environnement (1 classe). Le règlement rend obligatoire la présence des pictogrammes de dangers et des phrases de risque afin d'informer les utilisateurs sur les substances chimiques qu'ils utilisent. Ces informations sont divulguées par les fabricants, importateurs et distributeurs via les Fiches de Données de Sécurité (FDS) mais également via un étiquetage des produits [19].

I.1.4 Réglementation Polluants Organiques Persistants (POP)

Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances chimiques identifiées comme étant toxiques, persistantes dans l'environnement, bioaccumulables (accumulables dans les organismes vivants) et capables d'être transportées sur de très longues distances. En juin 1998 dans le cadre de la convention de Genève, le protocole d'Aarhus également appelé « protocole POP » fut signé. Cette convention encadre la réglementation concernant la pollution transfrontalière. Il s'agit de l'une des premières réglementations à s'intéresser aux substances persistantes. Par la suite, dans le cadre de la convention de Stockholm entrée en vigueur en mai 2004, 152 pays se sont engagés à réduire la pollution de l'environnement par les POP en interdisant ou en limitant strictement la production et l'utilisation de 12 produits parmi lesquels des insecticides (aldrine, chlordane, dichlorodiphényltrichloroéthane, dieldrine, endrine, l'heptachlore, mirex, toxaphène), un fongicide (HCB hexachlorobenzène), des produits chimiques issus de la production d'autres substances chimiques ou de l'incinération de déchets (dioxines, furanes) et les polychlorobiphényles utilisés dans les applications industrielles comme

l'isolation de transformateurs et de condensateurs, les additifs pour les peintures et les plastiques. La version du 15/12/2016 comprend au total 33 substances (24 substances à éliminer, 2 à restreindre et 7 libérées non intentionnellement pour lesquelles des mesures doivent être prises) [20]. En Europe, les textes de la convention de Stockholm furent adoptés par la Commission européenne en 2004 via le règlement (CE) n°850/2004.

Des substances sont candidates pour intégrer la liste et sont actuellement en cours d'étude pour déterminer si elles peuvent être considérées comme des polluants organiques persistants. Il s'agit du dicofol, de l'acide pentadecafluorooctanoïc, des composés de l'acide perfluorooctanoïc et de l'acide perfluorohexanoïc et ses composés.

I.2. Réglementations européennes sur les produits

I.2.1. Directive RoHS

Description

La directive RoHS (Restriction of Hazardous Substances) porte sur la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (EEE). Elle fut créée en 2002 (2002/95/CE) et révisée en 2011 (2011/65/UE) [21] [22]. Cette dernière version est entrée en vigueur le 21 juillet 2011 et a été transposée en droit français le 6 novembre 2013 via le décret n°2013-988. Cette directive s'applique à tous les nouveaux produits mis sur le marché dans l'Union européenne.

L'annexe I indique que les catégories d'EEE couvertes par la directive ROHS sont les suivantes :

- Les gros appareils ménagers,
- Les petits appareils ménagers,
- Les équipements informatiques et de télécommunication,
- Le matériel grand public,
- Le matériel d'éclairage,
- Les outils électriques et électroniques,
- Les jouets, équipements de loisir et de sport,
- Les dispositifs médicaux,

- Les instruments de contrôle et de surveillance, y compris les instruments de contrôle et de surveillance industrielle,
- Les distributeurs automatiques,
- Les autres EEE n'entrant pas dans les catégories ci-dessus.

En revanche, la directive ne s'applique pas pour des équipements conçus aux seules fins de recherche et développement, les dispositifs médicaux implantables ou encore les installations fixes de grande envergure (Article 2 de la directive). De plus, des exemptions sont prévues au cas où l'élimination ou le remplacement de la substance est impossible ou si les produits de substitution ne sont pas techniquement et économiquement viables. Au cas où les progrès scientifiques permettent de substituer une substance exemptée pour une utilisation précise, ladite exemption est levée. La durée d'une exemption peut varier de 5 à 7 ans en fonction des catégories d'EEE mais peut être renouvelée.

Les fabricants ont l'obligation de fournir la procédure de contrôle interne de la fabrication de l'équipement. Ces contrôles doivent démontrer que l'EEE respecte les exigences de la directive. Le fabricant établit par la suite une déclaration UE de conformité et un marquage CE est appliqué sur le produit fini. De plus, les EEE doivent disposer des informations permettant leur traçabilité et les fabricants ont l'obligation d'avertir les distributeurs lorsque des non-conformités sont détectées. Les importateurs et les distributeurs ont de leur côté l'obligation de s'assurer que les EEE mis sur le marché respectent la procédure de contrôle interne.

Substances concernées

Les substances concernées par cette directive et les concentrations maximales admissibles par poids de matière homogène (matériau dont la composition est parfaitement uniforme) sont :

- Les métaux lourds
 - o Le plomb (0,1 %),
 - o Le mercure (0,1 %),
 - o Le cadmium (0,01 %),
 - o Le chrome hexavalent (0,1 %),

- Les retardateurs de flammes
 - o Les polybromobiphényles (PBB) (0,1 %),
 - o Les polybromobiphényléthers (PBDE) (0,1 %).

Relation entre la directive et la filière plastique

L'industrie du plastique a, pendant de nombreuses années, utilisé le plomb et le cadmium en tant que stabilisateurs du PVC [23]. Il en est de même pour le PBB et le PBDE qui étaient utilisés comme ignifugeants [24]. La filière du plastique est donc particulièrement concernée par la directive RoHS et a l'obligation de contrôler ces procédés de fabrication afin d'éviter l'utilisation de ces substances à des concentrations supérieures à ce que prévoit la directive.

I.2.2 Directive ECODESIGN

Description

La directive Ecodesign (ou écoconception) fut adoptée en 2005 (2005/32/CE) et révisée le 21 octobre 2009 (2009/125/CE) [25] [26]. Elle a pour principaux objectifs de fixer des exigences d'écoconception, de rendement et d'émissions de polluants émis par les produits consommant de l'énergie de l'extraction des matières premières qui les compose jusqu'à leur fin de vie. Elle doit ainsi permettre d'atteindre les objectifs européens en termes de réduction des consommations énergétiques et d'émission des gaz à effet de serre.

Pour qu'un produit soit éligible, il doit répondre aux critères suivants :

- Avoir un volume de vente significatif (supérieur à 200 000 unités par an),
- Avoir un impact manifeste sur l'environnement,
- Avoir un potentiel d'amélioration de ses performances énergétique.

Si ces critères sont validés, une étude préparatoire est menée par un consultant missionné par la Commission européenne. Celle-ci a pour objectif de fixer des exigences d'écoconception sur la base d'analyses techniques, environnementales et économiques. Les différents paramètres étudiés peuvent être retrouvés dans l'annexe I de la directive. Des mesures d'exécution sont ensuite établies par le fabricant et doivent être validées par

le Comité de Réglementation afin que son produit puisse être mis sur le marché [Annexe I].

Afin d'avoir une vue globale des performances énergétiques de leurs produits, les fabricants peuvent réaliser des analyses du cycle de vie. Elles permettent d'évaluer les impacts environnementaux des produits depuis l'extraction de matières premières jusqu'au recyclage. Ce type d'analyse permet aux fabricants de respecter la réglementation, d'identifier les axes d'amélioration et de mieux maîtriser les coûts liés au cycle de vie d'un produit [27].

Relation entre la directive et la filière plastique

La partie 1 de l'annexe I de la directive écoconception porte sur les paramètres d'écoconception des produits. L'un des paramètres concerne l'utilisation de substances classées comme dangereuses pour la santé ou l'environnement. La directive souhaite limiter au maximum l'utilisation de substances dangereuses. Ces substances dangereuses sont susceptibles d'être retrouvées dans les plastiques revalorisés et ainsi compromettre la mise sur le marché européen du produit créé à partir de ces plastiques.

1.3 Réglementations européennes sur les déchets

1.3.1 Historique des réglementations déchets en lien avec les substances chimiques

Dans les années 1970 et 1980, des scandales liés à la gestion et à la manipulation des déchets éclatèrent en Europe et dans le monde. Il est par exemple possible de citer la catastrophe écologique de Love Canal dans l'état de New York aux États-Unis. À la fin des années 1970, une décharge toxique utilisée par les industriels de la région et non autorisée fut découverte. Ce sont ainsi plus de 22 000 tonnes de produits toxiques qui ont été enfouies jusqu'en 1953, année de la fermeture de l'usine qui exploitait cette décharge. Des maisons et écoles y furent construites pendant plus de 25 ans. Au total 235 familles furent évacuées de la zone et celle-ci est désormais non habitable [28]. Autre exemple notable, le scandale des déchets de SEVESO en 1983. En 1982, soit 6 ans après la catastrophe, des déchets contenant de la dioxine, une substance dangereuse, furent envoyés en France afin d'être traités. Les déchets furent perdus à la frontière et retrouvés 9 mois plus tard dans un abattoir désaffecté. Il est également possible de citer la catastrophe de Bhopal en Inde, en 1984 qui fit entre au moins 3800 morts. L'accident a

pour origine une rupture de canalisation qui a provoqué une explosion dans une usine de fabrication de pesticides. Cela a provoqué une augmentation de la chaleur qui a dégradé les produits de base qui se sont réarrangés entre eux avant de se stabiliser en fabricant d'autres substances dont de l'isocyanate de méthyle, une substance qui bloque la chaîne respiratoire mitochondriale et provoque l'asphyxie des organes. Des déchets toxiques non éliminés étaient enterrés dans un terrain voisin et ont participé au réarrangement des substances chimiques. Cette négligence de l'entreprise vis-à-vis de ses déchets est donc l'une des causes de cet accident [29].

Suite à toutes ces catastrophes, les autorités prirent conscience des conséquences possibles d'une mauvaise gestion des déchets.

En 1975, la directive-cadre sur les déchets et la directive sur les déchets dangereux furent adoptées. Ces directives apportent les bases en définissant ce qu'est un déchet, en imposant une manipulation qui ne nuit pas à la santé humaine et à l'environnement et des conditions quant à la circulation des déchets dans l'Union.

Par la suite, la convention de Bâle fut adoptée en 1992 afin de contrôler les mouvements transfrontaliers des déchets dangereux. Son objectif principal était de limiter l'exportation des déchets vers des pays d'Europe de l'Est où leur élimination se faisait à moindre coût [30].

Ces premières réglementations ont permis d'installer un cadre législatif dans la gestion des déchets au niveau européen. De nouvelles directives, telles que la directive-cadre sur les déchets, la directive DEEE, la directive VHU ou encore la directive emballages et déchets d'emballages les ont par la suite remplacées ou complétées.

I.3.2 Directive cadre sur les déchets

Description

La directive-cadre sur les déchets 2008/98/CE a été adoptée en 2008 par le Parlement européen. Elle est l'élément central de la réglementation européenne quant à la gestion des déchets et fournit les concepts essentiels tels que les déchets, la fin du statut de déchet, leur réutilisation et leur recyclage. Ses principaux objectifs sont de réduire la production de déchets, diminuer l'impact des déchets sur l'environnement et sur la santé et favoriser l'économie circulaire [31]. Cette directive fut transposée en droit français via l'ordonnance du 17 décembre 2010.

L'entrée d'un objet ou d'une substance dans la catégorie juridique de déchet provoque l'application d'une réglementation spécifique. Quatre principes essentiels sont énumérés dans la directive :

- La prévention de la production de déchets et la prévention des dommages causés par les déchets. La prévention des déchets est placée en tête de la hiérarchie des modes de traitement (article 4 de la directive). Les autres éléments présents dans la hiérarchie sont dans l'ordre des priorités : la préparation en vue du réemploi, le recyclage, la valorisation énergétique et l'élimination,
- Le principe pollueur-payeur. Le producteur originel du déchet a l'obligation d'assumer les coûts de la gestion des déchets,
- La responsabilité élargie du producteur. Le producteur du déchet doit mettre en place des méthodes de récupération, de réutilisation et de recyclage des déchets,
- La traçabilité des déchets. Celle-ci est tenue à jour par les producteurs, les collecteurs, les transporteurs et toutes autres personnes ou entités ayant un impact sur la production, l'expédition, la réception et le traitement des déchets.

Sortie du statut de déchet

La directive permet également la sortie du statut de déchet (SSD) si l'objet ou la substance concernée subit une opération de valorisation ou de recyclage. Il est nécessaire que cette opération respecte les quatre conditions définies dans l'article 6 de la directive et reprises dans l'article L.541-4-3 du code de l'environnement :

- La substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques,
- Il existe une demande pour une telle substance ou objet,
- La substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits,
- Son utilisation n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.

Le JRC, le laboratoire de recherche de la Commission européenne, est en charge de la mise en place de la méthodologie qui permettra de traiter de façon similaire les différents types de déchets en vue de leur sortie du statut de déchet. Pour chaque famille de déchet (plastiques, verres, métaux...), le JRC réalise un rapport afin de s'assurer que les quatre conditions énumérées plus haut sont respectées. Par la suite, la Commission européenne établit les critères de sortie du statut de déchet via un règlement [32].

Le règlement UE n°2011/333 concernant la sortie du statut de déchet des débris métalliques et d'aluminium s'organise autour de quatre axes :

- Des critères de qualité sur les matières entrantes,
- La qualité des produits sortants,
- Le système de management de la qualité de celui qui effectue la SSD,
- Une attestation de conformité produite par celui qui effectue la SSD.

D'autres règlements ont été créés pour le calcin de verre (règlement UE n°1179/2012) et les débris de cuivre (règlement UE n°715/2013). Au niveau national, seule une sortie de statut de déchet concernant les broyats d'emballages en bois a été actée par l'arrêté ministériel du 29 juillet 2014 [33].

Déchets dangereux

La directive définit les déchets qui peuvent être considérés comme dangereux pour la santé humaine et/ou l'environnement. L'annexe III liste les propriétés qui rendent les déchets dangereux :

- HP1 : Explosif,
- HP2 : Comburant,
- HP3 : Inflammable,
- HP4 : Irritant – irritation cutanée et lésions oculaires,
- HP5 : Toxicité spécifique pour un organe cible / toxicité par aspiration,
- HP6 : Toxicité aiguë,
- HP7 : Cancérogène,
- HP8 : Corrosif,
- HP9 : Infectieux,
- HP10 : Toxique pour la reproduction,
- HP11 : Mutagène,
- HP12 : Dégagement d'un gaz à toxicité aiguë,
- HP13 : Sensibilisant,
- HP14 : Écotoxique,
- HP15 : Déchet capable de présenter une des propriétés dangereuses susmentionnées que ne présente pas le déchet d'origine.

Les Etats ont l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour que la production, la collecte, le transport, le stockage et le traitement de ces déchets respectent l'environnement et la santé humaine.

L'article 18 de la directive interdit également que les déchets dangereux soient mélangés avec d'autres catégories de déchets dangereux, des déchets non dangereux, des substances ou des matières. La dilution de substances dangereuses est donc interdite.

Les mélanges sont autorisés à condition que :

- Le mélange soit effectué par une entreprise titulaire d'une autorisation,
- Les effets nocifs de la gestion des déchets sur la santé humaine et l'environnement ne soient pas aggravés,
- L'opération de mélange s'effectue selon les meilleures techniques disponibles.

Lorsque des opérations de mélange de déchets dangereux sont réalisées sans respecter les conditions ci-dessus, une opération de séparation doit être effectuée si celle-ci est techniquement et économiquement possible.

Ces dispositions ne s'appliquent pas aux déchets mélangés produits par les ménages.

Autorisation et enregistrement

D'après l'article 23 du règlement, tout établissement ou entreprise souhaitant procéder à un traitement des déchets a l'obligation d'obtenir une autorisation de la part des autorités compétentes. Ces autorisations doivent déterminer entre autres :

- Les types et quantités de déchets pouvant être traités,
- Les mesures de sécurité et précautions à prendre lors du traitement,
- Les méthodes de traitement utilisées pour chaque type de déchet,
- Les opérations de suivi et de contrôle.

Les établissements ou entreprises qui éliminent leurs propres déchets non dangereux sur le lieu de production ou celles qui réalisent des opérations de valorisation des déchets peuvent être exemptés de l'obligation d'autorisation. La liste de ces exemptions est notifiée dans un registre tenu par les autorités compétentes. Sont également enregistrés les établissements ou entreprises qui assurent la collecte ou le transport des déchets ainsi que les négociants et courtiers.

Plan de gestion et prévention des déchets

Les plans de gestion des déchets ont pour objectif d'établir une analyse de la situation en matière de gestion des déchets à un instant précis et de mettre en place des mesures afin d'améliorer celle-ci.

Les États membres ont l'obligation de mettre en place des programmes de prévention des déchets. Leur objectif est de rompre la corrélation entre production de déchets et croissance économique et démographique. Pour assister les États, la Commission met en place des lignes directrices pour l'élaboration des programmes.

Les plans de gestion et de prévention sont évalués et modifiés au moins tous les six ans avec la participation du public.

Dans le cas de la France, l'arrêté du 18 août 2014 a approuvé le plan national de prévention des déchets pour les années 2014 à 2020 [34]. Les principaux objectifs de ce plan sont la diminution de 7% de l'ensemble des déchets ménagers entre 2010 et 2020 et une stabilisation des déchets du BTP.

En ce qui concerne les flux de déchets plastiques, les principales actions à mener sont les suivantes :

- Renforcer le rôle des éco-organismes en matière d'écoconception,
- Donner un rôle aux éco-organismes en faveur du réemploi et de la réutilisation,
- Poursuivre l'observation du secteur (réparation-réemploi-réutilisation et suivre son évolution),
- Donner confiance aux consommateurs dans les produits d'occasion en développant des systèmes de garantie pour les produits d'occasion (rénovés-réparés-garantis),
- Favoriser l'accès et la disponibilité des pièces détachées.

Relation entre la directive et la filière plastique

Aucun règlement concernant la sortie du statut de déchet des plastiques n'est à ce jour en vigueur mais les critères nécessaires à la finalisation du rapport sont en cours de développement. Un déchet plastique est susceptible de sortir du statut de déchet lorsqu'il répond aux quatre principaux critères suivants [35] :

- Le déchet répond à une demande pour la transformation en vue d'une valorisation ultérieure,

- Les informations sur le déchet sont précises et complètes (type de polymère, additifs...),
- Le déchet ne dispose pas de substances dangereuses en concentration supérieure à ce que prévoit la réglementation,
- Le déchet plastique n'entre pas en contact avec d'autres déchets risquant de le contaminer lors de sa fabrication.

I.3.3 Directive Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques

Description

La directive Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) vise à rendre obligatoire la valorisation des DEEE et rend le producteur responsable des produits devenus DEEE qu'il a vendus. Cette directive fut créée en 2002 (2002/96/CE) et révisée en 2012 (2012/19/UE) [36]. Elle a été transposée en France par le décret 2014-928.

La directive porte sur les mêmes catégories que la directive RoHS. Elle oblige les Etats membres, les fabricants et les distributeurs d'EEE de mettre en place des filières de collecte des DEEE. Les fabricants peuvent soit mettre en place leur propre filière soit adhérer à un éco-organisme agréé pour la collecte et le traitement des DEEE. En France, plusieurs éco-organismes sont agréés et peuvent collecter une ou plusieurs catégories de DEEE [37].

Des objectifs de taux de collecte sont donnés aux Etats membres. Ainsi, à partir de fin 2016, le taux de collecte minimal est fixé à 45% du poids moyen des EEE mis sur le marché lors des trois années précédentes. Ce taux doit atteindre 65% à partir de 2019 et les Etats membres sont libres de se fixer des objectifs plus ambitieux.

Les déchets ainsi collectés doivent subir un traitement approprié (recyclage, valorisation, extraction de fluide...). Seuls les établissements autorisés par les Etats membres peuvent effectuer des opérations de traitement des DEEE.

Des objectifs de valorisation sont également donnés aux Etats membres (annexe V de la directive). Ainsi, 80% des gros appareils ménagers doivent être préparés en vue du réemploi ou du recyclage. L'objectif est de 55% pour les petits appareils ménagers (Annexe 2).

Relation entre la directive et la filière plastique

En 2015, plus de 615 000 tonnes de DEEE furent traitées dont près de 78 000 tonnes de plastiques (12,6%). Certains de ces plastiques peuvent contenir des substances interdites et donc être considérés comme des déchets dangereux et traités comme tels. La revalorisation de ces déchets n'est donc pas possible. Ainsi, en 2010, ce sont plus de 27 000 tonnes de plastiques bromés, soit 6,76% des flux de matière plastique, qui ont été extraits de DEEE [38]. Du fait de la quantité importante de plastiques et de substances dangereuses dans les DEEE, la filière plastique est directement concernée par la directive les encadrant.

I.3.4 Directive Véhicule Hors d'Usage

Description

La directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 est relative aux véhicules hors d'usage (VHU) [39]. L'objectif de cette directive est de limiter l'impact des véhicules hors d'usage sur l'environnement. Elle s'applique aux véhicules, aux véhicules hors d'usage et à leurs composants et matériaux.

Pour ce faire, les Etats membres poussent les entreprises à mettre en place des filières de recyclage et de valorisation de ces véhicules, à limiter l'utilisation de substances dangereuses afin de limiter le rejet de ces substances dans l'environnement et faciliter le recyclage en évitant d'avoir à éliminer des déchets dangereux. Ainsi, la directive oblige les constructeurs automobiles à retirer toutes traces de plomb, de mercure, de cadmium et de chrome hexavalent dans leurs véhicules. Tout comme la directive DEEE, des exemptions existent lorsque l'utilisation de ces substances est inévitable.

La collecte des VHU se fait dans des points de collecte spécifiques et leur traitement dans des installations de traitement autorisées.

Les centres de traitement agréés doivent satisfaire à différentes obligations. Ils ont ainsi l'obligation de déshabiller les véhicules afin d'éviter des incidences négatives sur l'environnement. De plus, les matériaux et composants dangereux doivent être retirés afin d'éviter toute contamination des déchets qui sont par la suite broyés. Enfin, les centres agréés doivent garantir que les opérations de déshabillage et de stockage mises en place facilitent la réutilisation des matériaux et tout particulièrement leur recyclage.

Des objectifs sont donnés aux opérateurs économiques. Le taux de réutilisation et de valorisation des VHU doit atteindre au minimum 85% du poids moyen par véhicule et par an au plus tard le 1er janvier 2006. Le taux de réutilisation et de recyclage devait

quant à lui atteindre 80%. Les taux sont moindres pour les véhicules produits avant le 1er janvier 1980, respectivement 75% et 70%. Les objectifs à atteindre pour le 1er janvier 2015 sont respectivement de 95% et 85%.

Ces objectifs n'ont été qu'en partie atteints en France. En effet, en 2014, le taux de réutilisation et de recyclage a atteint 85,9% (pour un objectif de 85%). Le taux de réutilisation et de valorisation a quant à lui atteint 91.3% (pour un objectif de 95%) [40].

De nouvelles dispositions prises via le décret n° 2016-703 du 30 mai 2016, entré en vigueur le 1er janvier 2017, favorisent l'utilisation de pièces détachées des VHU. Les propriétaires de véhicules peuvent désormais demander à leurs réparateurs d'utiliser des pièces détachées sécurisées et tracées afin de réduire les coûts mais également de favoriser l'économie circulaire.

Relation entre la directive et la filière plastique

Les plastiques des véhicules (pare-chocs, tableaux de bord...) sont susceptibles d'être réutilisés et sont donc concernés par cette directive VHU. Néanmoins, certains de ces plastiques contiennent des substances dangereuses telles que des retardateurs de flammes bromés qui, s'ils sont présents en quantité importante, ne permettent pas la réutilisation du plastique. La présence de ces substances peut donc être un frein à la réalisation des objectifs de la directive [41].

I.3.5 Directive emballages et déchets d'emballages

La directive 94/62/CE du 20 décembre 1994 du Parlement européen porte sur les emballages et les déchets d'emballages [42].

L'objectif principal de cette mesure est de limiter la production des déchets d'emballage et de favoriser le recyclage, la réutilisation et toutes autres formes de valorisation de ces déchets. La directive demande aux États membres de prendre des mesures afin de prévenir la production de déchets d'emballages et de mettre en place des mesures permettant leur réutilisation. Il est ainsi demandé aux États membres de mettre en place des systèmes de collecte, et de valorisation afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Au plus tard le 31 décembre 2008, 60 % minimum des déchets d'emballages devaient être valorisés ou incinérés dans des installations avec valorisation énergétique,

- Au plus tard le 31 décembre 2008, entre 55 et 80 % des déchets d'emballages devaient être recyclés,
- Au plus tard le 31 décembre 2008, les objectifs suivants devaient être atteints pour les matériaux contenus dans les déchets d'emballages :
 - 60 % pour le verre, le papier et le carton,
 - 50 % pour les métaux,
 - 22,5 % pour les plastiques,
 - 15 % pour le bois.

I.3.6 Stratégie en matière de gestion des déchets plastiques et futures réglementations

La Commission européenne a publié le 7 mars 2013 un livre vert sur une stratégie en matière de déchets plastiques dans l'environnement [43]. Ce document énonce plusieurs objectifs permettant la gestion des déchets plastiques repris pour la plupart dans le paquet économie circulaire. Celui-ci doit réformer 6 textes : la directive-cadre sur les déchets, la directive sur les déchets d'emballages, sur la mise en décharge, sur les déchets électriques et électroniques, sur les véhicules hors d'usage et sur les batteries et accumulateurs usagés. Les textes sont en révision depuis 2015 et devraient entrer en vigueur entre fin 2017 et début 2018. Bien que les textes soient toujours en discussion, certaines mesures répondant à la stratégie du livre vert sont déjà connues.

Appliquer la hiérarchie des déchets à la gestion des déchets plastiques

Environ 50% des déchets plastiques sont mis en décharge, la plupart étant des emballages. Ces déchets non valorisés et non recyclés représentent une perte de ressource importante. Le Parlement européen veut faire appliquer la hiérarchie des déchets afin de limiter la mise en décharge des déchets plastiques. Pour ce faire, la directive sur la mise en décharge (1999/31/CE) sera réformée afin d'y faire apparaître cette volonté via, par exemple, l'interdiction de mise en décharge pour les déchets ayant fait l'objet d'une collecte sélective et la mise en décharge d'au maximum 10% des déchets municipaux d'ici 2030 (contre environ 30% actuellement) [44].

Réaliser les objectifs de recyclage des matières plastiques

Le Parlement indique que de nombreux plastiques ne sont pas encore soumis à des objectifs de recyclage. C'est par exemple le cas des plastiques de mobiliers et les plastiques provenant d'équipements autres que les EEE. Et comme l'indique l'AEE (European Environment Agency), la mise en place de directives incitant les états membres à recycler certains types de plastiques a eu pour conséquence une augmentation importante des quantités de déchets recyclés [45].

Cibler le comportement des consommateurs

Les plastiques sont vus aujourd'hui comme des matériaux n'ayant aucune valeur bien que les procédés de fabrication soient complexes et requièrent des équipements de haute technologie. Le Parlement propose de mettre en place des systèmes de consignation des déchets plastiques et d'informer sur la teneur en matériaux recyclés, les performances environnementales ou encore les possibilités de recyclage des produits. Ce type d'information pourrait permettre au consommateur de mieux cibler ses achats et donc d'avoir une consommation plus raisonnée.

Fabriquer des matières plastiques plus durables

La durabilité des matières plastiques dépend en partie de leur recyclage. Ainsi, puisque la présence de substance chimique dans les plastiques rend impossible leur recyclage, une moindre utilisation de ces substances permettrait d'augmenter les possibilités de recyclage. La réglementation REACH actuellement en place a pour objectif d'ici à 2020 que toutes les substances à très forte préoccupation soient listées dans la liste candidate en vue d'une autorisation [15]. Les autorisations promulguées permettront de trouver des substances alternatives aux substances dangereuses utilisées.

Un transfert d'information entre les producteurs et les recycleurs via par exemple des fiches de données de sécurité sur les particules plastiques utilisées permettraient de favoriser un recyclage de meilleure qualité.

Les EEE ne sont en général pas conçus pour une réutilisation ultérieure. Les pièces de rechange ne sont disponibles que pendant une courte durée ce qui limite grandement la durée de vie des équipements. Il s'agit ici d'une forme d'obsolescence programmée mise en place par les constructeurs pour inciter les consommateurs à consommer plus, plus souvent. Le rapport de Pascal Durand adopté le 4 juillet 2017 par le Parlement européen dispose de plusieurs mesures visant à interdire l'obsolescence programmée telles que mettre à la disposition des consommateurs les pièces détachées standardisées

de leurs produits ou encore lui fournir une meilleure information afin qu'il puisse, encore une fois, avoir une consommation plus raisonnée [46].

D'autres mesures pourraient être prises au niveau européen pour limiter les déchets plastiques tels que l'interdiction des sacs plastiques (mesure déjà effective en France depuis juillet 2016), un objectif de recyclage de 70% des emballages plastiques d'ici 2025 ou encore une diminution des déchets marins de 50% d'ici à 2030.

Ces mesures et objectifs sont autant d'opportunités pour la filière plastique de développer son activité et d'avoir accès à des ressources en quantités plus importantes. Elle doit néanmoins pour cela résoudre un frein de taille qu'est la présence de substances dangereuses dans les déchets plastiques.

II. Les plastiques

II.1. Du monomère au plastique

II.1.1 La fabrication du plastique

La polymérisation en chaîne

La polymérisation en chaîne, également appelée polyaddition, est un procédé inventé en 1937 et utilisé en plasturgie lors de la fabrication du plastique. Il s'agit de réactions très rapides (moins d'une seconde) qui permettent, à l'aide d'un catalyseur, de créer un polymère par la juxtaposition de monomères. Les monomères sont caractéristiques de leur double liaison carbone. Le catalyseur accélère la réaction, ouvre la double liaison et permet au monomère de se lier à d'autres monomères via des liaisons covalentes sans élimination de molécules. Le monomère va ainsi former un dimère, puis un trimère, un oligomère et un polymère de masse molaire proportionnelle au nombre de monomères utilisés pour sa formation. L'ajout de monomères ne se fait qu'aux extrémités de la chaîne, ce qui indique une réaction contrôlée.

La polyaddition est caractérisée par 3 phases distinctes :

- La phase d'amorçage pendant laquelle le catalyseur (un activateur chimique) se lie à un monomère et entraîne la formation d'un site actif, point de départ de la polymérisation. Ce site actif peut être de différentes natures (radicalaire, anionique, cationique).
- La phase de propagation durant laquelle le monomère activé va former une liaison covalente avec un monomère et permettre ainsi la formation d'un polymère.
- La phase de terminaison pendant laquelle un agent chimique va désactiver le monomère situé en fin de chaîne et stopper la polymérisation.

Les structures créées sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui permettent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires peuvent être des ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide [47].

Selon les conditions de pression et de température, les molécules d'éthylène, de propylène, de styrène ou encore de chlorure de vinyle peuvent subir des réactions de polymérisation en chaîne.

La polymérisation par étapes

La polymérisation par étapes (ou polycondensation) est, contrairement à la polyaddition, une réaction aléatoire. Les monomères réagissent entre eux en fonction des groupes fonctionnels (atome ou groupe d'atomes, ayant des propriétés chimiques similaires et pouvant réagir ensemble) à l'aide d'un catalyseur chimique. S'en suivent différentes étapes de condensation des molécules qui éliminent les molécules non désirées (H_2O , HCl ou NH_3 par exemple). Les monomères vont ainsi s'associer au niveau des groupes fonctionnels et former tout d'abord des dimères, des trimères, des oligomères et enfin des polymères.

Plus le nombre de groupes fonctionnels par monomère est important, plus ceux-ci auront tendance à s'ajouter aux autres monomères et à former des chaînes. L'utilisation de monomères polyfonctionnels peut également mener à la formation de systèmes tridimensionnels.

Ces réactions sont, contrairement aux réactions de polyaddition, particulièrement longues et peuvent durer plusieurs heures [48].

Structure des polymères

Les polymères peuvent s'organiser en structure amorphe ou cristalline. Les polymères amorphes ont une structure moléculaire désordonnée et ne possèdent pas de point de fusion. Ils ramollissent progressivement via l'augmentation de la température.

Les polymères cristallins disposent d'une structure moléculaire organisée et d'un point de fusion précis. Ils ne possèdent pas de réticulation ou de ramifications importantes. De nombreuses liaisons secondaires sont présentes entre les chaînes afin de structurer le polymère.

Dans les faits, les polymères ne sont que très rarement cristallins. Ils sont le plus souvent semi-cristallins, c'est à dire composés à la fois de structures amorphes et cristallines (figure 4). Ils peuvent alors être caractérisés par leur taux de cristallinité qui mesure la proportion de matière se trouvant dans l'état cristallin. Plus ce taux est important et plus le polymère aura les caractéristiques se rapprochant d'un polymère cristallin [49].

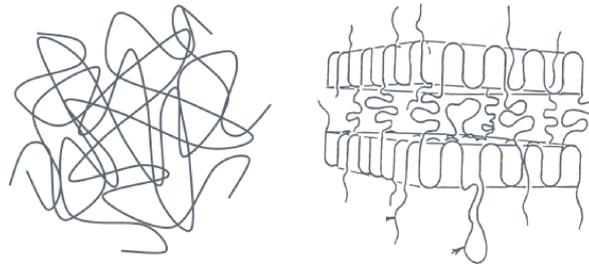


Figure 4 : Structure amorphe et structure semi-cristalline des polymères [50]

II.1.2 L'incorporation d'adjuvants

Suite à la formation du polymère, celui-ci est traité via l'ajout d'additifs afin de lui donner les propriétés souhaitées. Ces additifs peuvent être de diverses natures et incorporés via différents procédés.

Charges

Les charges sont des substances pouvant être utilisées afin d'améliorer les propriétés des plastiques ou de réduire les coûts de fabrication en limitant l'utilisation de plastique. Le carbonate de calcium, la charge la plus utilisée en plasturgie, est un minéral qui est broyé à la fois par la calcite, le marbre et le calcium (figure 5). Il est utilisé dans la fabrication du polychlorure de vinyle, les polyuréthanes ou les polyoléfines

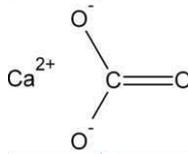


Figure 5 : Formule du carbonate de calcium [51]

Plastifiants

Un plastifiant est, d'après la norme ISO 472 de 1988, "une substance de volatilité faible ou négligeable, incorporée à un plastique, destinée à abaisser son intervalle de ramollissement, faciliter sa mise en œuvre et augmenter sa flexibilité ou son extensibilité".

Les plastifiants sont principalement utilisés dans la fabrication de PVC flexible. La gamme des souplesses obtenues étant très large, les domaines d'utilisation de ces PVC flexibles sont nombreux et variés.

Les plastifiants sont choisis pour leur :

- Compatibilité avec la matrice polymère,
- Faible volatilité,
- Faible extractibilité par les liquides en contact avec le matériau plastifié,
- Résistance aux chocs, au froid, à la chaleur...

Il existe deux classes de plastifiants : les plastifiants primaires et secondaires. Les plastifiants primaires sont des substances chimiques qui interagissent avec le polymère pour accroître sa flexibilité. Les plastifiants secondaires, en revanche, n'agissent pas directement sur le polymère mais sur le plastifiant primaire afin d'accroître son efficacité.

Il existe 2 méthodes de plastification : la plastification interne et la plastification externe. La plastification interne comprend une altération chimique du polymère ou du monomère avant la polymérisation. La plastification externe correspond à l'ajout d'une substance chimique qui interagit avec le polymère après la polymérisation permettant ainsi d'obtenir des flexibilités variables à partir d'un même polymère [52].

Les plastifiants sont divisés en différentes familles :

- les phtalates

Les phtalates sont des dérivés de l'acide phtalique. Ils se présentent sous la forme de liquides huileux transparents et très peu volatils à l'état brut. Ils sont principalement utilisés comme plastifiants, mais également comme fixateurs dans de nombreux produits (vernis à ongles, parfums, laques pour cheveux...). Ils sont en général utilisés pour des plastiques ayant besoin d'une bonne résistance à l'eau et aux graisses.

Les principaux phtalates sont le benzyle butyle phtalate (BBP), le phtalate de dibutyle (DBP) et le di(2-ethylhexyl) phtalate (DEHP). Le DEHP représente à lui seul environ 50% de la production de phtalates même si ce chiffre tend à diminuer ces dernières années [53].

- Les triméllitates

Les triméllitates sont principalement utilisés pour les intérieurs de voitures et d'autres applications nécessitant une forte résistance aux hautes températures (figure 6).

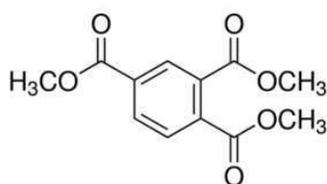


Figure 6 : Formule chimique du Triméthyl trimellitate [54]

- Les adipates

Les plastifiants à base d'adipates sont utilisés pour leur résistance à basse température et aux ultraviolets. Les adipates les plus utilisés sont le Bis(2-ethylhexyl) adipate (DEHA), le Dioctyl adipate (DOA) et le Dimethyl adipate (figure 7).

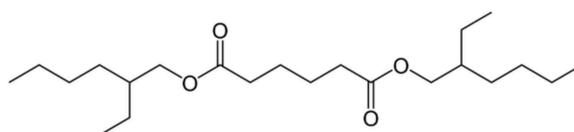


Figure 7 : Formule chimique du Bis(2-ethylhexyl) adipate [55]

Colorants et pigments

Les polymères sont par nature incolores. Des colorants et des pigments peuvent être ajoutés afin d'améliorer l'esthétique du produit. Ces colorants doivent posséder des propriétés spécifiques compatibles avec l'utilisation souhaitée du polymère (résistance chimique, mécanique, thermique...).

Antistatiques

Les polymères ont, du fait de leur structure moléculaire, la capacité de se charger en électricité statique. Les antistatiques sont utilisés pour augmenter la conductivité des matériaux via l'absorption de l'humidité de l'air et ainsi limiter la charge en électricité statique des polymères. Ils peuvent être appliqués par pulvérisation ou trempage via une solution aqueuse ou un solvant approprié. On parle alors d'antistatique externe. L'effet antistatique de cette méthode est immédiat mais peut être facilement stoppé par lavage ou frottement. Les antistatiques peuvent également être ajoutés lors de la formation du polymère. Il s'agit alors d'antistatiques internes. Ils doivent être compatibles avec la matrice polymère et ne pas interagir avec les adjuvants utilisés (tels que les stabilisants et les lubrifiants). Contrairement aux antistatiques externes, ils ne sont pas affectés par les

lavages et les frottements mais ne sont actifs que plusieurs heures (ou plusieurs jours) après leur ajout [56].

Lubrifiants

Des substances telles que les cires et paraffines peuvent être utilisées afin d'améliorer la propriété de glissement, faciliter la formation des polymères, limiter l'adhérence aux machines des matières plastiques. Il peut d'agir d'acides gras, d'ester ou encore de cires organiques [57].

Retardateurs de flamme

Les retardateurs de flamme sont des substances organiques de synthèse utilisées dans le but de diminuer les risques de propagation de flammes dans les matériaux synthétiques tels que les plastiques, les mousses et les résines. Ils peuvent agir physiquement (par refroidissement, formation d'une couche protectrice ou dilution du combustible) ou chimiquement (par réaction dans la phase gazeuse ou la phase solide). Les plus connus sont les agents ignifuges bromés mais des agents chlorés peuvent également être utilisés (Figure 8). Les retardateurs de flammes les plus présents dans les plastiques sont les polybromodiphényléthers (PBDE), l'hexabromocyclododécane (HBCDD) et le polybromobiphényles (PBB) [38].

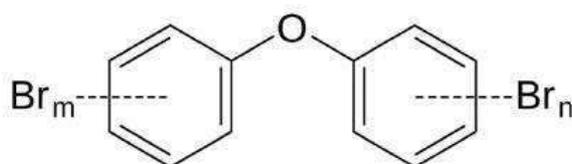


Figure 8 : Formule chimique générale des PBDE [VII]

Stabilisants

L'utilisation de stabilisants est nécessaire de garantir la résistance et la performance des plastiques à long terme. Il peut s'agir de stabilisants thermiques qui vont agir à température élevée (principalement lors de la transformation du plastique) ou de stabilisants photochimiques qui vont agir pendant toute la durée d'utilisation du plastique [58]. De nombreuses substances sont utilisées comme stabilisants photochimiques telles que le calcium et le nickel II. Le cadmium était également utilisé pour la fabrication du PVC

mais est interdit depuis mars 2010 [59]. Concernant le plomb, également utilisé comme stabilisant, de nombreux fabricants ont pris les devants en arrêtant la fabrication de PVC en contenant. Il n'en reste pas moins que les déchets PVC sont susceptibles de contenir ces substances préoccupantes.

II.1.3 Les différents types de plastiques

Le plastique remplace aujourd'hui de nombreux matériaux utilisés autrefois tels que le bois et le métal. Les recherches effectuées ont permis de créer de nombreuses variétés de plastiques ayant des propriétés différentes. Les plastiques peuvent être regroupés en deux grandes familles : les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Les Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont capables d'être durs ou mous en fonction de la température à laquelle ils sont exposés. Une augmentation de la température provoque une augmentation de la viscosité du plastique elle-même causée par la rupture des liaisons qui maintiennent les chaînes moléculaires telles que les liaisons de Van Der Waals et les liaisons hydrogène. Les chaînes moléculaires sont ainsi capables de glisser les unes par rapport aux autres afin de prendre une nouvelle forme qu'elles conserveront lors de la diminution de la température [60].

Les structures semi-cristallines ont besoin d'une élévation importante de la température pour voir leur élasticité augmenter contrairement aux structures amorphes (figure 9).

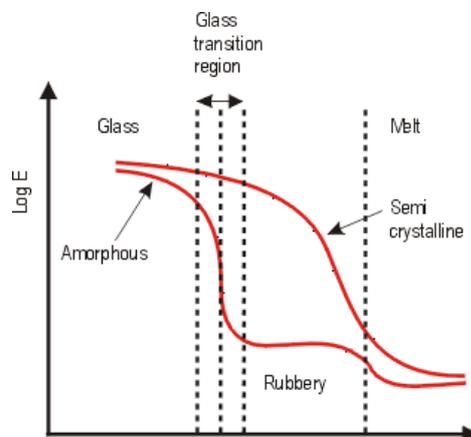


Figure 9 : Comparaison de l'effet de la température sur l'élasticité d'un plastique amorphe et d'un plastique semi-cristallin [61]

Les thermoplastiques les plus souvent utilisés sont :

- Le polyéthylène (PE)

Le polyéthylène est une matière plastique inerte, translucide et résistante au froid, issue de la polymérisation de l'éthylène (figure 10). Sa structure chimique simple en fait une matière facile d'utilisation, facilement recyclable et extrêmement populaire. Il peut être séparé en deux familles : le polyéthylène basse densité (PEBD) et le polyéthylène haute densité (PEHD). Le PEBD est principalement utilisé pour les produits souples tels que les sacs, les films plastiques (emballages, agriculture...). Le PEHD est quant à lui utilisé pour des produits plus rigides tels que des tuyaux, des jouets, des ustensiles ménagers et les bouteilles en plastique.

Les études menées à ce jour n'ont pas permis de mettre en évidence les éventuels effets toxiques du polyéthylène basse densité. Ils sont à ce jour considérés comme sans danger pour l'usage alimentaire.

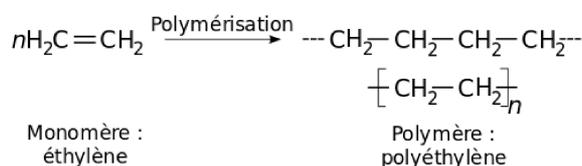


Figure 10 : Formule de polymérisation du polyéthylène [62]

- Le polypropylène (PP)

Le polypropylène est inerte, très résistant à la flexion et un bon isolant électrique et provient de la polymérisation du propylène (figure 11). Il est très utilisé dans des équipements automobiles tels que les tableaux de bord, les pare-chocs. Il est également utilisé en tant que fibre synthétique pour les cordes, les moquettes et les ficelles. Son recyclage est difficile en dehors du cadre de l'industrie.

Des études ont montré l'absence de toxicité du polypropylène au contact d'animaux ou d'Hommes [63].

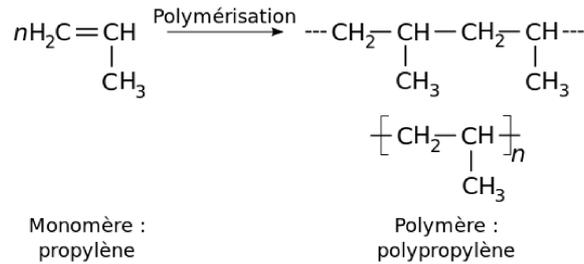


Figure 11 : Formule de polymérisation du polypropylène [64]

- Le polycarbonate (PC)

Le polycarbonate est une matière transparente, solide, résistante à la chaleur et potentiellement recyclable. Ces propriétés en ont fait l'un des plastiques les plus utilisés pour les emballages agroalimentaires. Il est formé par la polymérisation du Bisphénol A (BPA) qui est actuellement reconnu comme étant un perturbateur endocrinien [65] (figure 12). En plus de l'agroalimentaire, le polycarbonate est également utilisé pour les matériels électroniques et électriques, les équipements d'optique (lunettes) ou encore les domaines de l'automobile et de la construction.

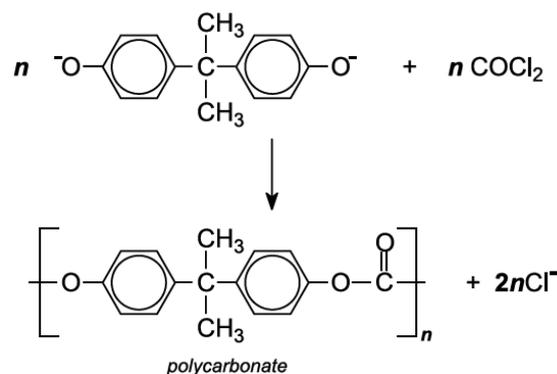


Figure 12 : Formule de polymérisation du polycarbonate [66]

- Le polystyrène (PS)

Le polystyrène est fabriqué par polymérisation radicalaire du styrène (figure 13). Il peut se présenter sous trois formes : le polystyrène « choc » qui présente une forte résistance aux chocs, le polystyrène cristal résistant aux fortes températures et le polystyrène expansé, forme la plus connue sous forme de mousse. Le polystyrène n'est pas biodégradable et il peut contenir des substances dangereuses telles que l'hexabromocyclododécane (HBCDD), substance soupçonnée d'être un perturbateur endocrinien [67].

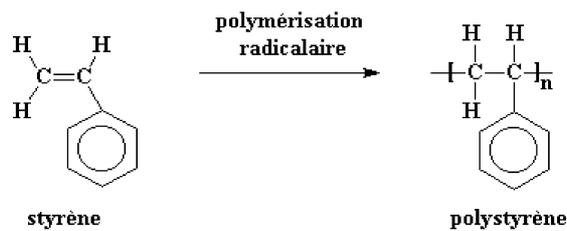


Figure 13 : Formule de polymérisation du polystyrène [68]

- Le polyéthylène téréphtalate (PET)

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polymère produit par la condensation de l'éthylène glycol avec l'acide téréphtalique (figure 14). Il est principalement utilisé dans la fabrication de bouteilles et de flacons. Le PET est fabriqué à l'aide de substances toxiques telles que l'antimoine et le nonylphénol. Cependant, des études ont montré que ces substances sont capables de migrer et ainsi se retrouver dans l'eau des bouteilles [69] [70].

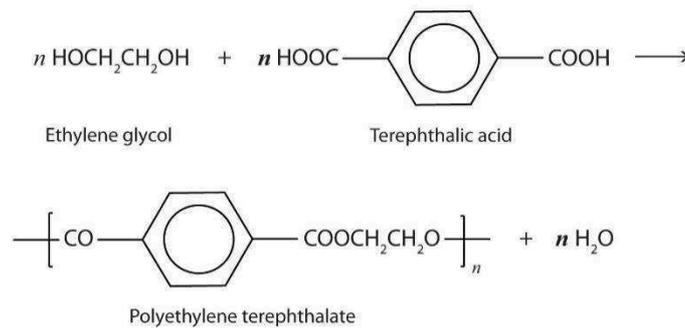


Figure 14 : Formule de polymérisation du polyéthylène téréphtalate [71]

- Le polychlorure de vinyle (PVC)

Le polychlorure de vinyle (PVC) est l'une des matières plastiques les plus utilisées dans le monde. Il s'agit d'un plastique rigide ou souple, transparent et capable de résister aux chocs et aux acides. Il est particulièrement utilisé dans le secteur du bâtiment (tuyaux de gaz, fenêtres, gouttières), des équipements électriques et électroniques et des transports. Le PVC est formé à partir de chlorure de vinyle, une substance chimique de synthèse toxique pour l'Homme (figure 15). D'autres substances toxiques telles que le

plomb et le cadmium, utilisés comme stabilisants aux rayonnements ultraviolets, sont susceptibles d'être présents dans le PVC [72].

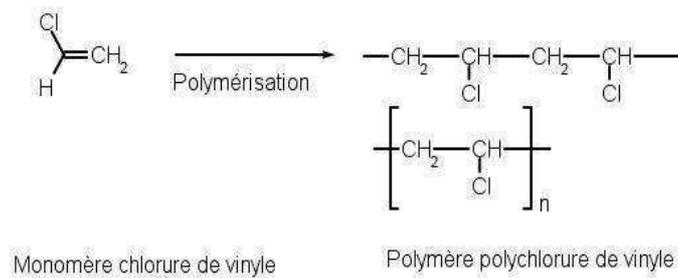


Figure 15 : Formule de polymérisation du PVC [73]

Les Thermodurcissables

Les plastiques thermodurcissables prennent une forme définitive lors de leur refroidissement. Une fois moulés et sous forte température, ils se dégradent et brûlent. Ils ne ramollissent pas et ne peuvent donc pas changer de forme. Ce sont les liaisons très résistantes qui constituent ces plastiques qui expliquent ces propriétés. Ils sont capables de résister à des températures plus élevées que les thermoplastiques et disposent de propriétés d'isolation électrique [74].

- Le polyuréthane (PUR)

Le polyuréthane est formé par la polymérisation d'un isocyanate et d'un groupement hydroxyle tel que l'éthylène glycol (figure 16). Il est principalement utilisé en tant qu'isolant thermique et mousse dans les matelas et oreillers. Il est également présent dans les vernis, colles et laques. Le principal danger lié au polyuréthane provient des substances libérées lors de son incinération. Les substances les plus préoccupantes sont le diisocyanate de toluène, classé cancérigène potentiel pour l'Homme [75], le monoxyde de carbone, particulièrement toxique pour l'Homme, et le cyanure d'hydrogène, une substance potentiellement mortelle car provoquant l'anoxie [76].

Le polyuréthane étant un produit durable, il peut être réutilisé ou recyclé via différentes méthodes (recyclage chimique ou mécanique). Le polyuréthane qui ne peut être réutilisé, recyclé ou transformé est valorisé en incinérateur afin de produire de l'électricité ou de la chaleur. Il est estimé que cette dernière méthode, qui provoque la formation de nombreuses substances toxiques, est utilisée pour près de la moitié du

II.2 Identification des principales substances dangereuses présentes dans les plastiques

II.2.1 Méthode de sélection et de recherche des substances dangereuses

Il a été montré que des substances chimiques très différentes pouvaient être utilisées dans la fabrication des plastiques.

Il est nécessaire d'identifier les substances chimiques les plus préoccupantes auxquelles peuvent être exposés les travailleurs de l'industrie de la plasturgie mais également les utilisateurs des plastiques. Pour cela, un tableau récapitulatif de ces substances a été réalisé. L'identification des substances s'est faite via des sites spécialisés tels que PVC.org, plasticseurope.fr mais également des rapports tels que celui l'Institut Technologie Danois [82].

Par la suite, les informations liées au devenir des substances et à leur toxicité furent obtenues depuis les sites de l'INRS, de l'INERIS mais également des dossiers d'évaluation des risques de l'ECHA. Certaines substances auront plutôt tendance à s'accumuler dans les sols, d'autres à se volatiliser et d'autres à migrer vers les nappes phréatiques. En fonction de son comportement, une substance pourra atteindre l'Homme via différentes voies d'exposition (inhalation, ingestion, contact cutané...). Ce tableau décrit ensuite la toxicodynamique de chaque substance, c'est-à-dire les effets néfastes pour une exposition aiguë et chronique chez l'Homme ou l'animal.

Les listes des substances candidates, des substances SVHC et des restrictions furent par la suite consultées afin de vérifier que les substances sont bien enregistrées, que les effets toxiques chroniques et aigus correspondent aux informations retrouvées sur les sites de l'INRS et de l'INERIS.

Pour chaque substance, les classifications effectuées selon le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen) et le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) furent utilisées. Les informations sont obtenues depuis le site de l'ECHA et celui du CIRC et indiquées afin de montrer le positionnement de ces instances vis-à-vis de ces substances et s'il y a bien une correspondance entre les effets toxiques observés et leur classification.

Les seuils issus des différentes réglementations (RoHS, convention de Stockholm, Directive pour la qualité de l'eau...) sont par la suite indiqués.

Enfin, les principaux substituants pouvant être utilisés pour remplacer les substances étudiées sont indiqués afin de montrer si des alternatives viables sont actuellement disponibles.

II.2.2 Tableau des principales substances dangereuses

Le tableau des substances chimiques présentes dans les plastiques est disponible en annexe 3.

Le tableau en annexe 4 récapitule, pour chaque substance, les principales réglementations qui les régulent.

II.2.3 Etude des données recueillies

38 substances utilisées dans la fabrication des plastiques furent identifiées comme étant dangereuses ou potentiellement dangereuses pour l'environnement et la santé humaine. Les types de substance les plus retrouvés sont les plastifiants, les retardateurs de flamme et certains monomères (figure 19).

Parmi ces 38 substances, 21 sont connues pour avoir un effet toxique sur la reproduction, 17 sont cancérigènes ou probables cancérigènes et 8 sont mutagènes d'après la classification CLP.

Enfin, 25 substances ou groupe de substances sont classés comme étant SVHC, 7 sont directement concernées par la directive RoHS et 11 sont sous le coup de restrictions induites par la réglementation REACH.

Ces résultats montrent que les substances préoccupantes sont très variables et utilisées pour des raisons très différentes. De plus, leur imprégnation dans les plastiques varie. Certaines substances ne font que recouvrir le produit pour lui assurer une protection (stabilisant) tandis que d'autres font partie intégrante du plastique (monomères). Ces différences obligent, en cas de recyclage, à procéder à l'utilisation de plusieurs techniques de tri et de recyclage afin d'extraire les substances dangereuses de la matrice polymère.

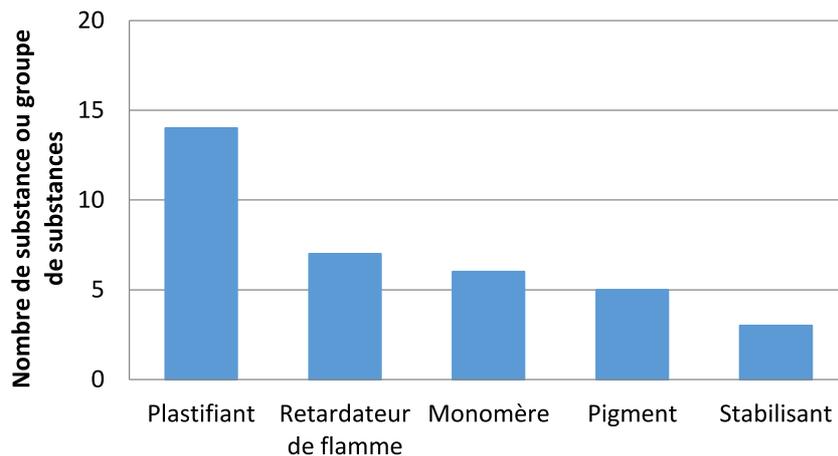


Figure 19 : Nombre de substance ou groupe de substances par type d'utilisation

Ces données montrent la complexité de la gestion des substances dangereuses présentes dans les plastiques. En plus du nombre important de substances à identifier et à éliminer, les professionnels de la plasturgie doivent également composer avec d'autres entraves à l'utilisation des plastiques recyclés et au développement de l'économie circulaire.

III. Les freins au développement de l'économie circulaire des plastiques induits par la présence de substances héritées du passé et maintenant réglementées

III.1 Limites au niveau réglementaire

III.1.1 Orientation de la réglementation

En Europe, plus de 30% des déchets plastiques ont été mis en décharge en 2014. Ces déchets non revalorisés représentent une perte de ressource importante pour l'Union européenne. Certains pays européens tels que l'Allemagne, la Suède ou encore la Belgique ont pris des dispositions réglementaires afin d'interdire l'envoi des plastiques en enfouissement et ainsi limiter la perte de ressources (Annexe 5). Dans d'autres pays comme la France, l'Espagne et l'Italie, plus de 25% des déchets plastiques sont encore enfouis. Ainsi, en 2014, l'Europe a enfoui environ 30,8% de ses déchets plastiques, en a incinéré 39,5% et en a recyclé 29,7%. En 2006, ces chiffres étaient respectivement de 53, 28 et 19% (Figure 20).

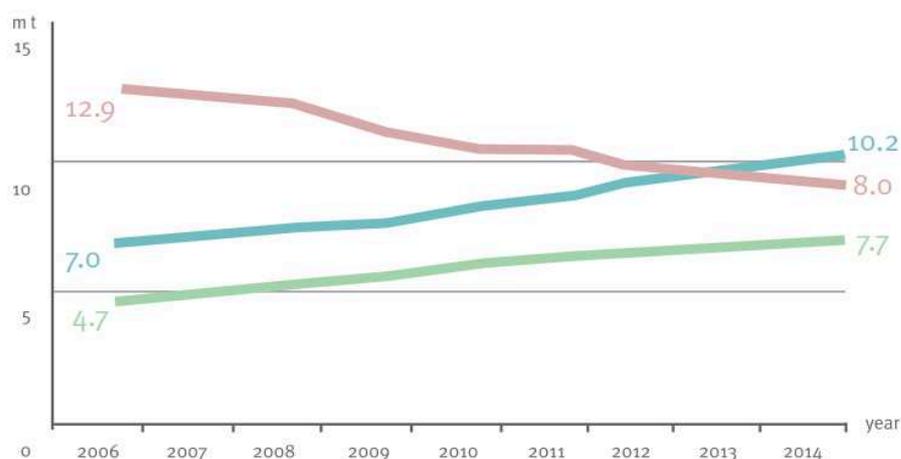


Figure 20 : Évolution des quantités de déchets plastiques de 2006 à 2014 en Europe en fonction du devenir des déchets [XVII]

Comme vu au premier chapitre sur la réglementation et ci-dessus, les fins de vie actuelles des déchets plastiques ne correspondent pas aux attentes et aux ambitions de la révision de la directive déchets et du package « économie circulaire », actuellement en cours au niveau européen. Il y a cependant une évolution significative du devenir des

déchets plastiques en huit ans en Europe avec l'utilisation de plus en plus importante des méthodes de revalorisation des déchets plastiques.

Néanmoins, dans les pays dans lesquels une interdiction de mise en décharge est appliquée, il est possible d'observer que les taux de recyclage ne sont pas forcément plus élevés quand dans les autres pays et qu'une grande proportion des déchets qui auraient dû se retrouver en enfouissement sont incinérés. Or, bien que l'incinération soit une forme de valorisation énergétique des déchets, celle-ci entraîne des rejets et ne permet pas de récupérer toute la valeur des matériaux ce qui est contrairement aux valeurs de l'économie circulaire. De plus, vis-à-vis de la hiérarchisation des modes de traitement, la valorisation énergétique est après la valorisation matière ce qui implique que cette dernière doit rester prioritaire, sauf en cas de dérogation justifiée. L'enfouissement et l'incinération sont actuellement taxés via la TGAP, la taxe générale sur les activités polluantes. Son montant et le taux applicable varient selon les catégories d'activité et de produit. Le commissariat général au développement durable (CGDD) estime cependant que l'incitation n'est pas suffisamment forte et souhaite donc augmenter la TGAP de manière progressive (elle devrait passer de 40 euros par tonne de déchet aujourd'hui à 48 euros en 2025) [83]. La réglementation européenne et les diverses réglementations nationales sur les déchets ne sont donc pas encore suffisamment incitatives en ce qui concerne le recyclage et contraignantes en ce qui concerne le stockage et l'incinération.

III.1.2 Recyclage des déchets plastiques contenant des substances préoccupantes

Un déchet est classé comme dangereux s'il présente une ou plusieurs propriétés de danger (nocif, cancérigène, explosif...). Un déchet dangereux ne représente pas systématiquement un risque. Il est essentiel de distinguer les notions de danger et de risque. Dans notre cas, un danger est la propriété intrinsèque d'une substance à générer un effet néfaste ou indésirable. Le danger est donc une propriété inhérente à la substance. Le risque correspond à la probabilité d'apparition d'un événement pour un individu ou dans une population pendant une période donnée. Il est fonction du danger et de l'exposition. Ainsi, une substance peut être dangereuse mais sans risque pour les populations si celle-ci n'y est pas exposée.

L'un des problèmes du recyclage est l'utilisation de matériaux susceptibles de contenir des substances néfastes pour la santé humaine ou l'environnement. Ces substances dangereuses pourraient être, à cause du recyclage et de la réutilisation des

plastiques, exposées à la population. L'exposition potentielle de la population à ces substances dangereuses représente donc un véritable risque qu'il est nécessaire de maîtriser. Il a été vu précédemment que l'article 18 de la Directive-cadre sur les déchets interdit tout recyclage des déchets dangereux et tout mélange de déchets dangereux avec des déchets non dangereux. Appliquée au sens strict, la présence de ces substances limiterait drastiquement les ressources disponibles en matière plastique recyclables. Aux déchets dangereux pourraient s'ajouter prochainement des déchets contenant des substances actuellement à l'étude telles que le formaldéhyde, limitant encore un peu plus les ressources disponibles pour les professionnels du recyclage.

Des exemptions sont néanmoins possibles et certaines substances telles que le cadmium, l'hexaBDE et l'heptaBDE peuvent être recyclées s'ils ne dépassent pas une certaine concentration [84]. Ces exemptions sont en contradiction avec l'interdiction de recycler des matières dangereuses et l'interdiction de diluer des substances dangereuses mais permettent d'avoir accès à des quantités plus importantes de ressources. Il s'agit ici de l'une des principales contradictions de la réglementation actuelle et une cause régulière de mésentente entre les organisations de protection de l'environnement et de la santé humaine d'un côté et les associations des professionnels du recyclage et de la plasturgie de l'autre.

III.1.3 Objectifs de recyclage

Les différentes réglementations déchets établissent des objectifs de valorisation des déchets. Les objectifs proposés sont des objectifs minimums que doivent suivre les États membres. Ils sont cependant libres de les conserver ou de fixer des objectifs plus ambitieux. De nombreux plastiques ne disposent pas d'objectifs de recyclage tels que les plastiques de mobiliers et les plastiques provenant d'équipements autres que les EEE. Ceux-ci disposent cependant d'objectifs de recyclage globaux (plastiques, métaux...). Le recyclage des plastiques est donc pris en compte dans ces produits.

Les objectifs de recyclage déterminés par les différentes réglementations sont en général suffisamment ambitieux pour montrer la volonté de l'Union européenne de développer l'économie circulaire. Il est possible de prendre comme exemple la réglementation DEEE fixe des objectifs de recyclage compris entre 70 et 80% avant août 2018 pour les appareils ménagers. Or, les plastiques contenant des substances

dangereuses pourraient dans le futur être interdits de recyclage ce qui pourrait grandement limiter le volume de plastique recyclable. Il est donc légitime de se demander si les objectifs de recyclage actuellement en vigueur sont atteignables compte tenu de l'évolution de la réglementation sur les substances dangereuses.

III.1.4 Pistes pour gérer les limites réglementaires

Réutiliser les plastiques à risque de façon raisonnée

L'une des pistes les plus plébiscitées par les fabricants pour la gestion des plastiques contenant des substances dangereuses est la réutilisation de ces plastiques dans des matrices fermées. Ainsi, l'Homme ne serait plus directement en contact avec les substances dangereuses. Nous pouvons citer comme exemple le PVC recyclé pouvant contenir des substances anciennement autorisées et aujourd'hui interdites, à des niveaux faibles et contrôlés. En effet, des substances telles que du cadmium ou du plomb peuvent être réutilisées pour la fabrication de conduits de câbles, de portes-fenêtres en PVC ou bien en tant que couche intermédiaire des tuyaux en PVC. Des études tendent à montrer que le risque pour la santé humaine et l'environnement serait limité avec ces applications car le cadmium ne serait pas capable de migrer depuis le PVC [85]. De plus, ces productions étant recyclées et réutilisées dès que possible en circuit fermé (recyclage dans l'optique de fabriquer des produits secondaires de même type que les produits primaires), le cadmium ne se diffuse pas à d'autres produits. Cette solution permet à la fois de gérer les substances dangereuses, de limiter les coûts de recyclage et les coûts de fabrication des produits. Ainsi, une interdiction totale du cadmium pourrait être remplacée par une interdiction partielle et une autorisation pour les applications pour lesquelles une exposition de l'Homme au cadmium n'est pas possible. Néanmoins, cela nécessiterait une traçabilité totale du plastique, depuis sa première fabrication et tout le long de ses multiples utilisations et recyclages.

Des tests normés peuvent être effectués afin de démontrer l'absence de migration des polluants dans les plastiques :

- NF EN 1186 1 à 15 : analyse de migration globale
- EN 13130 1 à 28 : analyse de migration spécifique

Une réutilisation plus raisonnée des plastiques contenant des composés organiques volatils (COV) tels que les PVC pourrait être effectuée. Ceux-ci peuvent par

exemple être traités au formaldéhyde, une substance cancérigène actuellement étudiée en CoRAP. Cette pratique était très employée il y a plusieurs décennies avec des concentrations en formaldéhyde importantes. Les fabricants proposent aujourd'hui des produits avec de faibles concentrations en COV (indiquées par étiquetage). Les plastiques concernés pourraient être considérés dans un avenir proche comme des déchets dangereux et donc interdits de recyclage. Cependant, pour les produits les plus anciens sur lesquels ont été utilisées des quantités importantes de formaldéhyde, des études ont montré que les rejets de formaldéhyde diminuent grandement avec le temps [86]. Les produits qui ont reçu des concentrations élevées en COV lors de leur fabrication et ayant une durée de vie de plusieurs années pourraient être recyclés sans risquer d'exposer les utilisateurs à des concentrations élevées en COV.

Améliorer les techniques de purification des plastiques

La réglementation devrait encourager les techniques innovantes en termes de purification des plastiques contenant des substances dangereuses. Certaines substances pourraient causer dans les années à venir des problèmes majeurs en termes de gestion des déchets. Nous pouvons prendre comme exemple l'Hexabromocyclododecane (HBCDD), une substance SVHC probable toxique pour la reproduction utilisée dans le polystyrène. L'utilisation de la substance est désormais interdite sauf autorisation. Néanmoins, des quantités très importantes sont toujours présentes dans les maisons et les immeubles où il était utilisé en tant qu'isolant thermique. Des techniques de recyclage permettant d'extraire l'HBCDD du polystyrène sont actuellement à l'étude [87]. La rénovation ou la démolition dans les décennies à venir des habitations isolées avec du polystyrène contenant de l'HBCDD provoqueront un relargage graduel de cette substance mais en quantités très importantes. Les procédés aujourd'hui à l'étude ne permettent pas d'atteindre un niveau de purification suffisant au regard de la réglementation POP. Il est donc essentiel de maintenir un effort de recherche pour pouvoir, dans les années à venir, obtenir un procédé économiquement et qualitativement viable de purification du polystyrène qui est un matériau facilement recyclable pour le sortir de cette problématique.

Simplifier la réglementation et l'adapter pour favoriser l'économie circulaire

Les plastiques sont aujourd'hui soumis à de très nombreuses réglementations, les réglementations produits, substances et déchets. Ces réglementations impactent toutes, de façons plus ou moins importantes, le recyclage des déchets plastiques. Une simplification de la réglementation via une participation des parties prenantes devrait donc être envisagée pour étudier au cas par cas, substance par substance, les solutions de gestion des déchets les plus adaptées. Il sera pour cela nécessaire de prendre en considération les substances dangereuses présentes dans les plastiques et leur devenir en fonction du mode de traitement, les économies d'énergie et de CO2 procurées par le recyclage mais également les gains énergétiques procurés par l'incinération. Une analyse bénéfices/risques pour chaque substance et chaque type de plastique devrait donc être réalisée. Ce cadre politique transparent pourrait apporter une clarification de la réglementation au marché et favoriser la réutilisation des plastiques contenant des substances réglementées héritées du passé.

L'une des pistes qui pourraient favoriser la transition vers une économie circulaire est l'adaptation de la réglementation. Pour développer ce point, il est possible de prendre comme exemple le cadmium. La restriction donnée au cadmium lors de son entrée dans la liste de restriction de REACH indique une limite de concentration dans les produits recyclés dix fois supérieure aux concentrations admises dans le PVC nouvellement fabriqué pour des usages spécifiques [88].

De la même manière, la réglementation POP permet aux produits recyclés de contenir des POP en concentration supérieure à la limite admise pour les produits nouvellement fabriqués. Par exemple, le pentabromodiphényléther n'est permis qu'à une concentration de 0,001% en poids quand il est présent dans les produits nouvellement fabriqués. Néanmoins, s'il est produit partiellement ou entièrement à partir de matériaux recyclés, la concentration limite est alors de 0,1% pour des usages spécifiques [89].

Cette approche permet de faciliter le recyclage des plastiques PVC contenant du cadmium en ayant accès à des ressources en quantité bien plus importantes. Elle pose néanmoins la question du niveau de protection pour la santé humaine et l'environnement dans l'économie circulaire. Cette problématique peut cependant être gérée via une traçabilité efficace des plastiques afin de limiter la dissémination des substances.

Les emballages industriels et commerciaux sont également un élément clé qu'il faut prendre en compte pour la gestion des déchets plastiques. En 2012, 928 000 tonnes d'emballages industriels et commerciaux étaient mises sur le marché, soit environ 45%

des déchets d'emballages produits en France, le reste étant des emballages ménagers. Au total, seulement 29% des déchets d'emballages industriels et commerciaux sont recyclés, le reste étant valorisé ou enfoui [90]. Il semble donc important de développer les solutions alternatives permettant de limiter la production des déchets d'emballage. Il serait ainsi possible de favoriser la réutilisation des emballages qui ne représente, pour les déchets industriels et commerciaux, qu'une infime part de leur devenir. Les bénéfices seraient à la fois économiques avec une diminution des coûts de production, sociaux avec la création d'emplois et environnementaux avec une consommation d'énergie moindre. Il serait également possible de développer les emballages compostables qui sont aujourd'hui une alternative aux emballages recyclables et réutilisables.

D'autres mesures peuvent être prises pour favoriser l'économie circulaire. Il serait par exemple possible de mettre en place des mesures d'incitation à la performance au recyclage pour les détenteurs et les producteurs de déchets.

III.2. Limites au niveau technique

III.2.1. La composition des plastiques

Certains plastiques peuvent contenir de très nombreuses substances chimiques, que ce soit des plastifiants, des stabilisants ou des retardateurs de flamme. Dans les faits, il est techniquement et économiquement très compliqué de connaître la composition complète des plastiques. De plus, certains produits, souvent fabriqués à l'international, ont de longues durées de vie et leur composition d'origine est souvent impossible à obtenir. Des méthodes existent mais se révèlent relativement lentes et coûteuses pour les industriels :

- Spectrométrie infrarouge. Cette analyse permet d'identifier le type de matrice polymère utilisée dans un plastique. Un spectre de réflexion est analysé et permet d'identifier la structure des molécules (figure 21) [91].

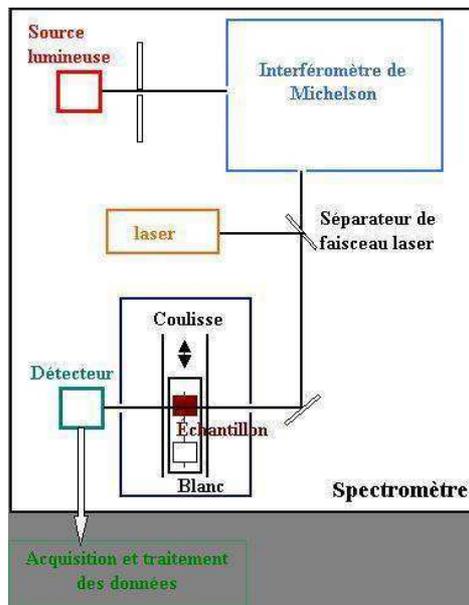


Figure 21 : Schéma de principe d'un spectromètre à transformée de Fourier [92]

- Analyse directe par spectrométrie de masse couplée à la mobilité ionique [93]. Cette méthode est basée sur la séparation des ions par ionisation. Une fois séparés, les ions sont transportés à l'aide d'un gaz porteur dans un tube. Plus les ions sont gros et lourds et plus le nombre de collisions avec le gaz porteur seront importantes, ce qui ralentira la vitesse des ions. Ce sont ces différences de vitesse qui seront analysées au détecteur (Figure 22).

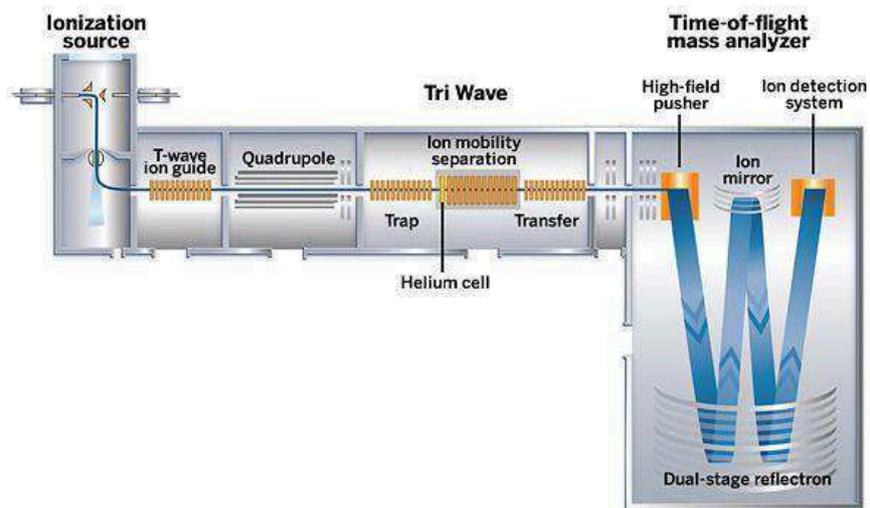


Figure 22 : Schéma de principe de l'Analyse directe par spectrométrie de masse couplée à la mobilité ionique [94]

- Spectroscopie par Fluorescence X. Cette méthode permet d'identifier les métaux lourds présents dans la matrice polymère tels que le cadmium et le plomb dans le cas du PVC mais également de déterminer la présence de retardateurs de flamme bromés. Elle est basée sur la capacité de certains atomes excités à émettre un rayonnement X. Elle ne permet cependant pas d'identifier la matrice polymère et de différencier les différentes molécules bromées (Figure 23) [95].

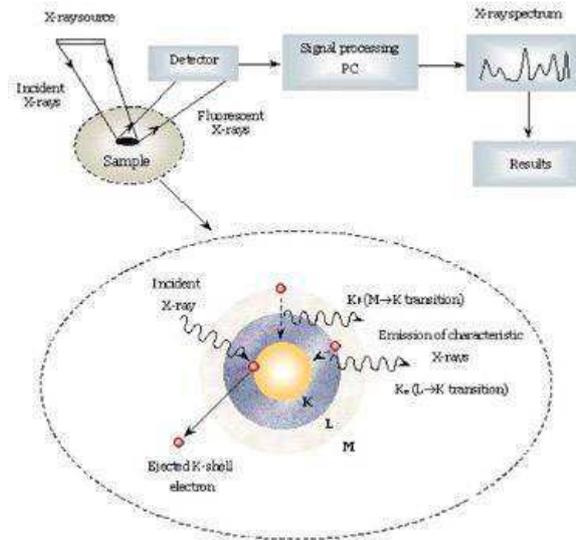


Figure 23 : Schéma de principe de la spectroscopie par fluorescence X [96]

- Spectroscopie du plasma induit par laser [97]. Cette technique permet, en focalisant une impulsion laser sur un plastique à analyser, de former un plasma. Une analyse spectrale de la lumière émise est par la suite réalisée et permet d'identifier et de quantifier les éléments contenus dans le plastique (Figure 24).

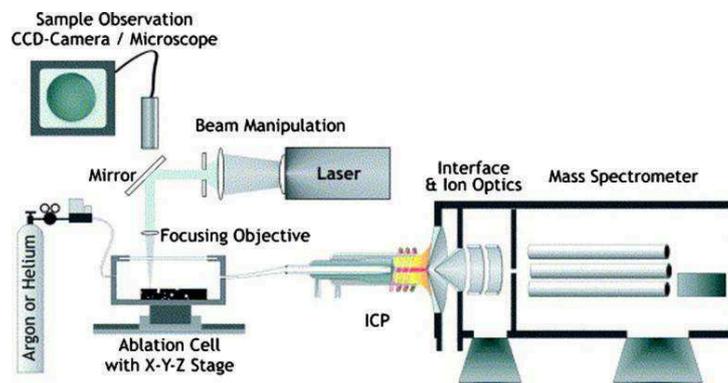


Figure 24 : Schéma de principe de la spectroscopie du plasma induit par laser [98]

Ces méthodes sont susceptibles d'être utilisées lors de la gestion de quantités importantes de déchets d'une même nature et d'une même origine car ayant de fortes chances d'avoir des additifs similaires (déchets plastiques industriels par exemple). Elles restent cependant difficiles à mettre en place pour le recyclage des déchets ménagers qui comportent des plastiques de toutes variétés et de toutes compositions.

D'autres méthodes peuvent également être employées pour trier les déchets plastiques [99].

L'identification de la composition des plastiques est essentielle pour assurer un recyclage efficace et conforme à la réglementation. Nous pouvons prendre comme exemple la circulaire du 30 novembre 2012 relative à la gestion des plastiques issus des DEEE [100]. Celle-ci définit les règles de recyclage des plastiques issus des DEEE en fonction de la présence ou non de retardateurs de flamme bromés. Les différents scénarios sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Devenir des déchets plastiques en fonction des substances présentes selon les réglementations POP, REACH et CLP [101]

Substance présente dans la réglementation POP	Substance dangereuse selon REACH et la classification CLP	Devenir possible du plastique contenant la substance
NON	NON	Recyclage possible
NON	OUI	Usine d'incinération de déchets dangereux Centre d'enfouissement de déchets dangereux (classe 1)
OUI	NON	Usine d'incinération de déchets non dangereux
OUI	OUI	Usine d'incinération de déchets dangereux Centre d'enfouissement de déchets dangereux (classe 1)
Composition du plastique inconnue		Usine d'incinération de déchets dangereux Centre d'enfouissement de déchets dangereux (classe 1)

La revalorisation des plastiques contenant une substance n'est donc possible que si la substance n'est ni dangereuse ni listée en tant que POP ou si sa concentration est inférieure aux seuils fixés par la réglementation.

III.2.2 Le recyclage

La purification des plastiques

Actuellement, aucun procédé d'extraction des substances dangereuses des plastiques n'est utilisé au niveau industriel. Les freins au développement de ce type de technologie sont pour l'heure trop nombreux. Comme nous l'avons vu auparavant, les plastiques sont constitués de nombreuses substances dont plusieurs pouvant se révéler dangereuses (plastifiants, retardateurs de flamme, stabilisants...). Étant plus ou moins liées à la matrice polymère et ayant des propriétés physico-chimiques différentes, l'emploi de plusieurs procédés d'extraction serait nécessaire pour purifier les déchets plastiques des différents types d'additifs utilisés. Le coût de ces procédés de purification ainsi que le coût du recyclage sont également à mettre en comparaison avec la fabrication des plastiques. Le rapport de l'ADEME, de la Direction Générale des Entreprises (DGE) et de l'Association Alliance Chimique Recyclage publié en 2015 montre que les coûts liés à la collecte, au tri et à la revalorisation peuvent être plus élevés que le prix de revente des matières plastiques. L'ajout de ces procédés de purification pour des plastiques à faible marge semble être, au vu de ces données, économiquement non viable. La question peut néanmoins se poser pour les plastiques disposant des prix de revente les plus élevés tels que le polystyrène choc et le polystyrène cristal [102].

L'émission de substances dangereuses secondaires

Outre la problématique liée à la purification des plastiques des substances chimiques dangereuses présentes dans les plastiques, les professionnels du recyclage doivent également gérer les substances dangereuses émises lors du recyclage des plastiques, qu'il soit chimique ou mécanique.

Le recyclage chimique permet de décomposer les macromolécules qui constituent les polymères en matières premières pouvant être réutilisées. La dépolymérisation est effectuée par un procédé thermique ou chimique et permet au plastique de revenir à l'état de monomère ou aux produits pétrochimiques de base [103]. Différents types de recyclage chimique existent et sont effectués à des températures élevées. Nous pouvons par exemple citer la pyrolyse (entre 300 et 650°C) et la gazéification (entre 900 et 1200°C).

Le recyclage mécanique est la forme de recyclage des plastiques la plus utilisée [104]. Il permet de broyer le polymère sous forme de paillettes puis de le ramollir sous l'effet de la chaleur par extrusion (procédé de malaxage et d'échauffement). Les températures lors des procédés d'extrusion peuvent varier de 50 à 250°C.

Sous l'effet de la chaleur, certaines substances organiques peuvent migrer dans le plastique, être transformées en métabolites nocifs pour la santé ou l'environnement et être libérées sous forme de gaz. C'est par exemple le cas des PBDE. Lors du recyclage mécanique, les PBDE peuvent se transformer en métabolites dangereux, les dibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes polybromés (PBDD/PBDF). Il a été montré que plus la température est élevée et plus la quantité de PBDE émise est importante. A faible température, seul le déca-BDE est émis. Plus la température augmente, et plus le déca-BDE est débromé et l'émission de nona, octa et hepta-BDE est observée [105]. Les phtalates sont également concernés par cette problématique. Des études ont montré qu'aux températures comprises entre 50 et 80°C, les phtalates peuvent migrer et être émis dans l'air [106]. Lorsque les températures sont plus élevées (entre 80 et 220°C), la formation d'anhydride phtalique, une substance issue de la décomposition de certains phtalates et connue pour ces effets irritants, est possible [107].

Les métaux lourds, principalement utilisés comme stabilisants thermiques du PVC (plomb, cadmium), ne sont pas libérés lors des recyclages mécaniques et chimiques. Néanmoins, ils peuvent, tout comme les substances dangereuses organiques, être recyclés et réutilisés pour la fabrication de plastiques sensibles tels que les jouets si un contrôle de l'usage n'est pas établi.

Ainsi, bien que permettant la réutilisation des plastiques et étant essentiel au bon fonctionnement de l'économie circulaire, le recyclage peut s'avérer problématique dans la mesure où il ne permet pas à l'heure actuelle de gérer de manière convenable les substances dangereuses présentes dans les déchets plastiques. De plus, les procédés utilisés lors du recyclage peuvent être à l'origine d'émissions de ces substances et ainsi exposer directement les travailleurs et leur environnement. Des solutions doivent donc être trouvées afin de protéger à la fois les travailleurs des risques provoqués par une exposition à ces substances et les acheteurs des plastiques contenant des substances dangereuses et issues du recyclage.

III.2.3 L'incinération

L'émission de substances dangereuses secondaires

L'incinération a pour objectif, via un processus de combustion à haute température, de brûler et détruire les déchets. Les déchets concernés par l'incinération sont les déchets d'ordures ménagères, industriels banals (DIB), industriels dangereux (DID), d'activité de soins à risque infectieux (DASRI) et les boues de station d'épuration.

La température des fumées de l'incinérateur en fonctionnement permet la production d'énergie que ce soit sous forme électrique (via l'alimentation des turbines qui produisent l'électricité) ou de chaleur (chauffage urbain). Les incinérateurs fonctionnent de manière générale en continu et sont autoalimentés par les déchets qu'ils brûlent.

Les plastiques disposant d'un pouvoir calorifique élevé (3 fois plus élevé que le bois pour les plastiques les plus calorifiques), ce sont d'excellents déchets pour la revalorisation énergétique en termes de rendement [108]. Néanmoins, comme vu précédemment, les plastiques portés à très haute température peuvent émettre des substances dangereuses particulièrement nocives pour la santé même à très faible concentration. Les principales substances concernées dans le cas des plastiques sont :

- Les dioxines et les furanes chlorés issus de la combustion du PVC et bromés provenant de la combustion des retardateurs de flamme bromés
- Le formaldéhyde provenant de la combustion du PVC
- L'acide chlorhydrique issu de la combustion du PVC
- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)
- Les métaux lourds tels que le plomb et le cadmium issus en majorité du PVC et le chrome

Avant les années 90, la réglementation n'imposait pas de traitement particulier pour limiter les émissions de ces substances par les incinérateurs. Les concentrations retrouvées dans l'environnement étaient alors très élevées ce qui avait des conséquences directes sur la santé des Hommes habitant à proximité et étant exposés à ces substances. De nombreuses études ont pu montrer l'impact des centres d'incinération de déchets construits dans les années 70-80 sur la santé humaine avec en particulier l'apparition de formes variées de cancers [109] [110] [111].

L'arrêté ministériel du 25 janvier 1991 relatif aux installations d'incinération de résidus urbains fixe de nouvelles règles que doivent suivre les incinérateurs afin de limiter l'émission de substances dangereuses. Les centres d'incinération ont par exemple l'obligation de porter les gaz issus de la combustion des déchets à 850°C pendant deux secondes afin de s'assurer de la destruction des dioxines et furanes qui se trouvent transformés en dioxyde de carbone et acide chlorhydrique. Ces mesures et des systèmes de filtration plus perfectionnés ont permis de diminuer de façon drastique les rejets de dioxines dans l'environnement (figure 25).

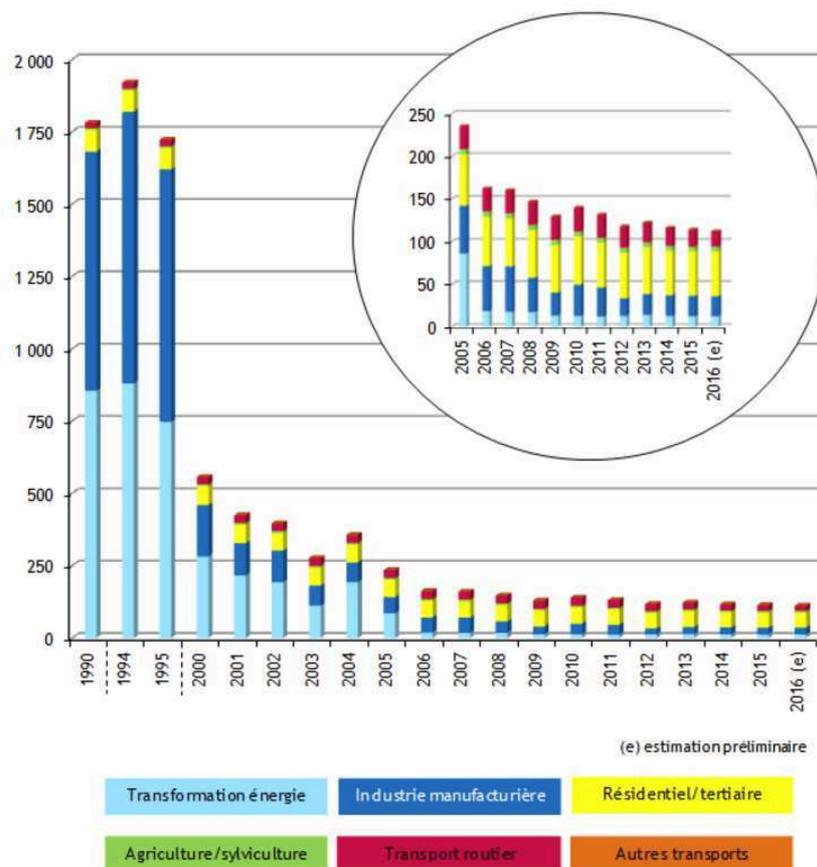


Figure 25 : Émissions atmosphériques en dioxines en tonne de 1990 à 2016 en France métropolitaine [112]

Les émissions de dioxines et de furanes sont néanmoins toujours possibles, notamment lors des phases de mise en route et d'arrêt des incinérateurs, lorsque la température est inférieure à 850°C [113].

Il est également possible de citer l'émission de chlorure d'hydrogène formé suite à l'incinération du PVC. Cette substance, qui participe à l'acidification des pluies et est un irritant des voies respiratoires, provoque également la corrosion des chambres de

combustion des incinérateurs. Celui-ci est éliminé par le lavage à l'eau des gaz de combustion.

Les composés organiques ont donc tendance à se transformer en de nouvelles substances lors de l'incinération. Celles-ci peuvent être plus toxiques que les composés de base et donc nécessiter la mise en place de procédés de filtration performants pour limiter leur émission dans l'environnement et les risques pour les populations environnantes. Une température suffisamment élevée permet, par exemple, de limiter l'émission de substances à risque.

Les métaux lourds font également l'objet de contrôles afin de vérifier que leurs concentrations dans les fumées émises ne dépassent pas les normes établies. Lors de la combustion, les métaux sont libérés de la matrice dans laquelle ils étaient inclus et se retrouvent dans les résidus d'incinération. En fonction de leurs propriétés physico-chimiques, les métaux peuvent soit s'accumuler dans les résidus d'incinération (mâchefers), se vaporiser et se condenser sur des particules volantes (cendres) ou sous forme de microgouttelettes [114]. Dans tous les cas, les concentrations en métaux lourds sont très élevées et un traitement adapté est nécessaire pour limiter leur émission dans l'environnement. La figure 26 montre les concentrations en cadmium (présent dans le PVC) mesurées en France entre 1990 et 2016. On observe que la part de la transformation d'énergie diminue fortement passant de 4,2 tonnes en 1990 à 0,3 tonne en 2016. Ces résultats sont liés au durcissement de la réglementation concernant les émissions des centrales d'incinération. Ainsi, douze métaux lourds sont aujourd'hui contrôlés en sortie de cheminée d'incinérateur (cadmium, thallium, mercure, arsenic, plomb, chrome, cobalt, cuivre, manganèse, nickel, vanadium).

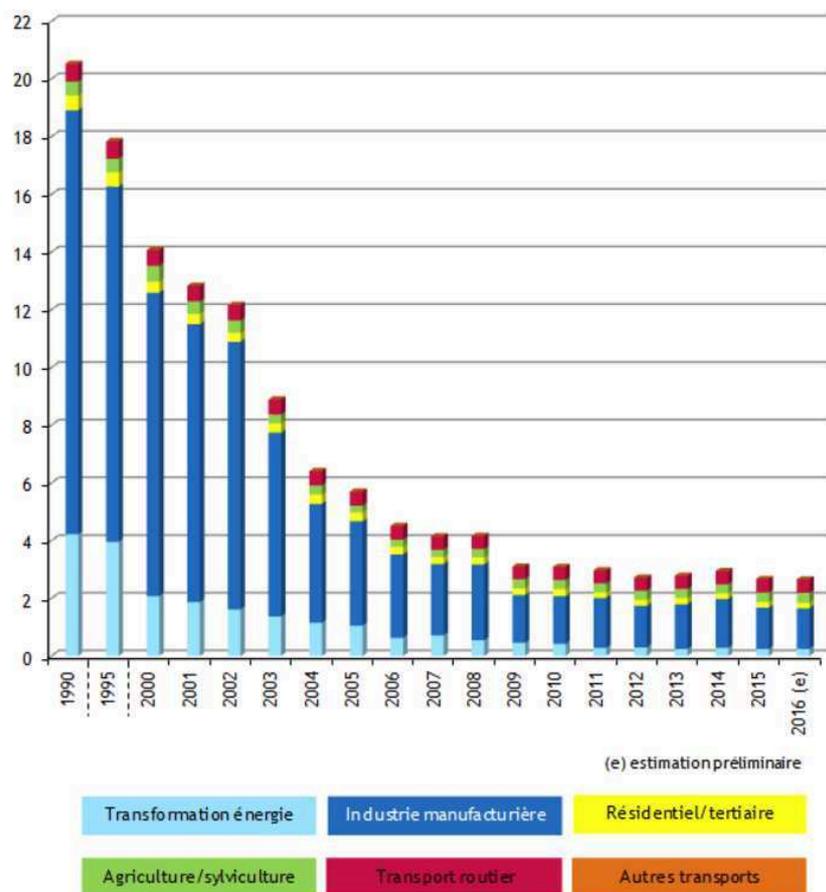


Figure 26 : Émissions atmosphériques de cadmium en tonne de 1990 à 2016 en France métropolitaine [115]

La réglementation actuelle impose le contrôle de vingt-trois substances en sortie de cheminée d'incinérateur [116]. Or, certaines associations estiment que plus de 2000 substances différentes seraient émises à des concentrations très variables [117]. Pour ces substances, aucun contrôle n'est réalisé pour une grande majorité des émissions des incinérateurs. Or, il a été montré que des substances telles que les perturbateurs endocriniens et les substances CMR peuvent avoir des effets sans seuil, c'est-à-dire exprimer un effet toxique même à très faible concentration. Ces substances étant susceptibles de provoquer des effets néfastes même à faible dose et compte tenu du manque d'information relatif au rejet d'un nombre important de substances, il est difficile d'établir précisément si les incinérateurs de nouvelle génération ont un impact sur la santé humaine. La mise en place de ces incinérateurs reste néanmoins une avancée majeure dans la réduction des émissions de substances préoccupantes.

La gestion des résidus d'incinération

L'incinération produit deux types de résidus :

- Les mâchefers d'incinération des ordures ménagères (MIOM).

Ce sont les résidus solides de l'incinération, c'est-à-dire la partie minérale des déchets. Ils représentent environ 10% du volume initial des déchets incinérés. Ils sont considérés comme des déchets dangereux lorsqu'ils sont issus de l'incinération de substances dangereuses. La circulaire DPPR n° 94-IV-1 du 9 mai 1994 relative à l'élimination des mâchefers d'incinération des résidus urbains distingue trois catégories de mâchefers devant être gérés de différentes façons (figure 27).

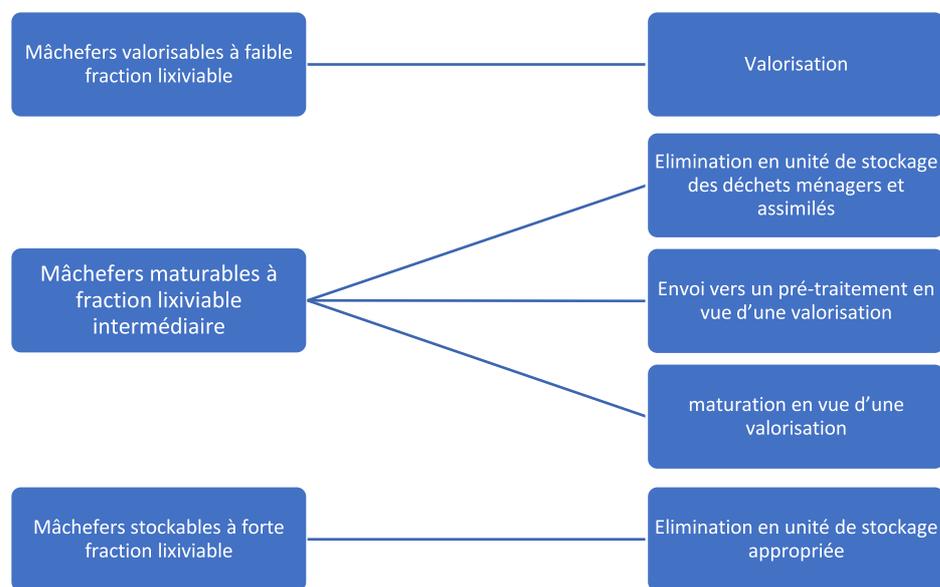


Figure 27 : Différentes classes de mâchefers et possibilité de gestion [118]

Un test de potentiel polluant est réalisé afin de mesurer les concentrations en mercure, plomb, arsenic, chrome hexavalent, sulfate et carbone organique total. Un test de détermination du taux d'imbrûlés est également effectué pour évaluer le risque de développement bactérien dans les mâchefers [119]. Les données obtenues permettent de classer les mâchefers étudiés dans l'une des trois catégories. Les mâchefers à forte fraction lixiviable, c'est-à-dire disposant de quantités importantes des polluants cités ci-dessus, doivent subir un prétraitement avant de pouvoir être stockés ou valorisés.

- Les résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères (REFIOM).

Ces résidus peuvent être sous forme de cendres volantes, de gâteaux de filtration des eaux de lavage des fumées ou de résidus de neutralisation des fumées. Les normes réglementaires ont permis la fermeture des centrales d'incinération les plus polluantes, en général construites dans les années 70-80, et ont été remplacées par des incinérateurs nouvelle génération disposant de systèmes de filtration bien plus efficaces.

Divers procédés peuvent être utilisés afin de limiter l'émission de substances dangereuses dans l'environnement (tableau 3).

Tableau 3 : Description des principaux procédés utilisés en centre d'incinération pour la gestion des substances dangereuses

Objectif	Procédé utilisé	Substances concernées	Description
Dépoussiérage	Filtres à manches	Métaux lourds	Les gaz passent à travers des manches en tissu (feutre ou membrane) capables d'arrêter les particules les plus fines. Afin de décolmater et récupérer les résidus filtrés, de l'air est injecté à faible pression dans le sens contraire de passage du gaz.
	Électrofiltre	Métaux lourds	Les fumées passent entre des électrodes qui les chargent négativement. Les particules chargées s'accumulent ensuite sur les électrodes positives.
Neutralisation des gaz acides	Voie sèche Voie humide	HCl, HF, SO _x	Les acides sont neutralisés au moyen d'une base (chaux ou bicarbonate de sodium) et les produits de réaction sont séparés.
Traitement des dioxines et des furanes	Adsorption sur charbon actif	Dioxines et des furanes	Le charbon actif dispose d'une grande surface qui lui permet de piéger les dioxines et les furanes contenus dans les fumées ; il est ensuite récupéré dans des filtres et envoyé en centre de stockage des déchets de classe 1.
Traitement des oxydes d'azote	Réduction sélective catalytique	NO _x	De l'ammoniac est utilisé (ou un dérivé comme l'urée) afin de réduire les oxydes d'azote en azote moléculaire.

Les sous-produits de filtrage et de lavage des fumées sont considérés comme étant des déchets ultimes dangereux qui doivent dans un premier temps être stabilisés et solidifiés avant d'être stockés dans des centres d'enfouissement des déchets de classe I.

La stabilisation et la solidification peuvent être réalisées via différents procédés tels que les liants hydrauliques, liants organiques et la vitrification. La stabilisation permet de transformer les résidus et de les rendre moins facilement mobilisables par l'environnement. La solidification permet quant à elle de transformer les résidus en solide afin de réduire les contacts entre les déchets et l'environnement.

L'incinération entraîne donc la formation de nouvelles substances dangereuses avec tous les risques et toutes les contraintes associés : émission de substances dangereuses secondaires, pollution de l'environnement, et gestion des résidus d'incinération.

III.2.4 L'enfouissement et la dispersion des substances dans l'environnement

L'enfouissement a été pendant longtemps la méthode de gestion des différents types de déchets la plus simple mais également l'une des moins respectueuses de l'environnement. Elle ne permettait aucune revalorisation des déchets contrairement au recyclage et à l'incinération. De nos jours, les déchets organiques enfouis peuvent faire l'objet d'une valorisation. La fermentation des matières organiques animales et végétales permet en effet d'obtenir un biogaz composé essentiellement de méthane, de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et de sulfure d'hydrogène. Ce biogaz peut alors être récupéré puis soit brûlé afin d'éviter le relargage dans l'atmosphère du méthane (gaz qui possède un effet de serre 21 fois plus important que dioxyde de carbone), ou être valorisé en chaleur et en électricité. L'enfouissement des déchets plastiques ne permet pas de revalorisation puisque ceux-ci peuvent mettre plusieurs centaines d'années à se dégrader. En revanche, leur longévité pourrait permettre de les garder en zones de stockages jusqu'à la rentabilité de leur recyclage. Cette méthode ne semble donc pas adaptée aux déchets plastiques avec des conséquences environnementales qui peuvent être importantes mais pourrait être envisagée pour les stocker sur une courte période.

Si les normes de confinement ne sont pas respectées, des substances potentiellement dangereuses risquent d'être emportées par les lixiviats et atteindre le sol, les nappes phréatiques et les cours d'eau présents à proximité du centre d'enfouissement. Le compartiment air est également concerné avec le risque d'émissions de composés organiques volatils tels que le formaldéhyde et les retardateurs de flamme. Les centres de stockage respectant les normes ont l'obligation de récupérer les lixiviats et d'assurer la

séparation entre les déchets et le sol sur lequel ils sont entreposés via la mise en place d'une membrane imperméable. Ces membranes n'ont cependant pas une durée de vie infinie et la pollution des sols et des cours d'eau n'est donc que déplacée dans le temps [120].

Les déchets plastiques, du fait leur longue durée de dégradation, de leur faible valorisation et du risque de pollution important ne devraient pas être gérés dans les centres d'enfouissement.

III.2.5 La sortie du statut de déchet

L'absence de transfert d'information entre les différents acteurs

Les réglementations REACH et CLP posent les exigences en termes de communication entre les différents acteurs intervenants dans le cycle de vie des produits (fabricant, importateur, distributeur, utilisateur). Cette communication porte principalement sur les risques pour la santé humaine et l'environnement d'une exposition à la substance. Lorsqu'un matériau passe de l'état de produit à celui de déchet, il n'est plus soumis à la réglementation REACH mais à la réglementation déchet. Suite à la sortie du statut de déchet, le déchet redevient un produit et, à ce titre, doit de nouveau satisfaire aux exigences de REACH. Cet enchaînement de réglementation pour un même matériau demande donc une communication efficace entre tous les acteurs afin que les informations concernant les substances présentes dans le matériau soient conservées. Dans les faits, le transfert d'information entre les producteurs et les professionnels du recyclage est quasiment inexistant et souvent irréalisable. Il n'est donc pas suffisant pour assurer une traçabilité des produits et des déchets [121]. Ceci s'explique principalement par l'origine variée des déchets et la difficulté qu'ont les professionnels à réunir les informations concernant les plastiques récoltés. Si la communication est stoppée lorsque le produit est considéré comme un déchet, et que le recycleur n'a pas d'information sur les déchets, celui-ci a l'obligation de déterminer le caractère nocif de la substance, par le biais d'analyses en laboratoire si nécessaire, pour pouvoir engager une procédure de sortie du statut de déchet. Pour des raisons techniques et économiques, ces analyses ne sont faites que partiellement et ne sont pas réalisées sur chaque déchet plastique, mais à intervalle régulier. Ce manque d'information peut provoquer le recyclage de plastiques

contenant des substances dangereuses telles que le plomb et le cadmium à des seuils supérieurs de ceux prévus par la réglementation.

La complexité des plastiques

La sortie du statut de déchet ne peut se faire que si le matériel concerné répond à des critères prédéfinis. Les États membres sont donc libres de définir eux-mêmes leurs propres critères au niveau national ou régional si les critères n'ont pas été définis au niveau européen. Dans le cas du plastique, la sortie du statut de déchet globale est particulièrement compliquée du fait du grand nombre de types de résines plastiques et, pour une même résine, des formulations très variables qui peuvent exister. Ceci rend la mise en place de critères de sortie du statut de déchet complexe, voire impossible.

III.2.6 La gestion des « nouveaux déchets dangereux »

Le durcissement de la réglementation pourrait provoquer dans le futur le reclassement de certains déchets plastiques en déchets dangereux. C'est par exemple le cas du PVC qui contient de nombreuses substances préoccupantes telles que le plomb, le cadmium, le formaldéhyde, des phtalates et des retardateurs de flamme. L'ajout du PVC à la liste des déchets dangereux provoquerait automatiquement l'interdiction de son recyclage (à moins de la mise en place de valeurs seuils) et l'impossibilité théorique d'incinérer et de stocker le PVC dans les centres dédiés aux déchets ménagers. Ceux-ci ne pourraient alors être incinérés que dans des centres d'incinération des déchets dangereux.

Les interdictions de recyclages de tout ou une partie des déchets PVC et d'autres types de plastiques pourraient provoquer une augmentation importante des quantités à gérer pour les incinérateurs et les centres de stockage. Cela aurait également pour conséquence d'entraîner d'une part la remobilisation des substances dangereuses dans les mâchefers et autres résidus d'incinération et d'autre part le stockage de quantités importantes de PVC contenant des substances dangereuses. Les infrastructures pourraient donc se révéler insuffisantes pour gérer ces nouveaux déchets dangereux. De plus, cette voie serait contraire aux principes de l'économie circulaire qui encourage la réutilisation des déchets.

III.2.7 Pistes pour gérer les limites techniques

Étudier les substances au cas par cas

L'une des mesures qui pourraient permettre d'optimiser à la fois le recyclage, l'incinération et l'enfouissement des déchets est l'étude, au cas par cas, des substances présentes dans chaque type de plastique. Ceci permettrait d'évaluer la filière de traitement la plus adaptée en fonction du risque induit par la substance du produit, mais également en fonction des modes de gestion disponibles et des applications permettant de les réutiliser tout en évitant d'exposer la population. Les études devront, pour une substance donnée, répondre aux questions suivantes :

- L'exposition à cette substance représente-t-elle un risque pour la santé humaine et l'environnement ?
- Cette substance est-elle libérée lors des processus d'incinération ? Des substances secondaires toxiques sont-elles formées ?
- Cette substance risque-t-elle de se retrouver dans les lixiviats ou dans les gaz émis suite à son enfouissement ?
- Cette substance peut-elle, suite au recyclage des plastiques qui la contiennent, être intégrée dans les nouveaux produits dans une application tracée où elle ne serait pas relarguée ?

S'il est avéré qu'une substance réglementée présente dans les plastiques est susceptible de se retrouver dans les mâchefers ou les cendres volantes des fumées d'incinération, ou dans les lixiviats et les émissions de gaz des centres d'enfouissement, il pourra être envisagé de recycler ces plastiques et de les inclure dans une matrice imperméable. Cette possibilité nécessite néanmoins la mise en place de critères de sortie du statut de déchet spécifique : des critères en vue d'une réutilisation normale des plastiques et des critères prenant en compte leur isolation dans des matrices.

Les parties prenantes en charge de ces études, devront peser le pour et le contre entre la valorisation énergétique, l'enfouissement et le recyclage des plastiques en fonction de la dangerosité des substances contenues dans ceux-ci et des possibilités techniques afin de limiter la formation de substances dangereuses secondaires. Elles devront par la suite étendre cette étude aux matériaux en faisant la compilation des

données recueillies sur les substances présentes dans les plastiques et ce pour chaque type de plastique

Ceci permettra par la suite de mettre en place une sortie de statut de déchet matériau par matériau avec des critères définis pour chacun d'entre eux. Ce type d'approche est déjà réalisé dans le cadre des plastiques recyclés autorisés pour le contact alimentaire. Cette procédure est gérée par l'EFSA (European Food Safety Authority) et définit un type de flux plastique bien précis (par exemple les bouteilles dans le cas du PET), une technologie de décontamination dans le but de supprimer les éventuels contaminants et une application précise, la fabrication de bouteilles en plastique dans ce cas. Un type de plastique contenant des substances potentiellement dangereuses pourrait ainsi sortir du statut de déchets si le flux d'origine est maîtrisé, s'il y a des étapes de traitement et si le type d'application est tracé et sans risque pour la santé humaine. Il y aura une substance dangereuse présente dans le plastique mais elle ne sera pas relarguée et l'exposition pour l'Homme ou l'environnement sera quasiment nulle.

Prendre en compte les écoprofiles

Le choix du devenir des déchets plastiques devrait également prendre en compte de manière plus prononcée les écoprofiles des différents types de plastique lorsque ceux-ci sont fabriqués à partir de résines vierges ou issus du recyclage. Ces écoprofiles permettent d'évaluer les impacts environnementaux et l'utilisation des ressources nécessaires à la fabrication. Nous pouvons prendre comme exemple l'écoprofil du PVC (Tableau 4). Nous pouvons observer que l'impact environnemental du PVC recyclé est inférieur en tout point à celui du PVC issu de résines vierges. En ce qui concerne l'utilisation des ressources, le constat est similaire avec l'utilisation de quantités plus importantes d'énergie renouvelable et d'eau douce pour le PVC issu de résines vierges que le PVC recyclé. Il semble donc essentiel, dans un monde sensible au réchauffement climatique et à l'utilisation des ressources naturelles, de prendre en compte les écoprofiles de chaque type de plastique afin de mettre en avant les aspects positifs de leur recyclage dans les choix de fin de vie de ces produits.

Tableau 4 : Ecoprofils du PVC recyclé (R-PVC) et du PVC fabriqué à partir de résines vierges. UD signifiant « unité définie » soit 1kg dans ce tableau [122]

		R-PVC	polyvinyl chloride, from suspension process, S-PVC, at plant	Ratio Recyclé/vierge
		1 kg	1 kg	%
Impacts environnementaux				
Réchauffement climatique	kg CO2 eq/UD	1,19E-01	1,98E+00	6%
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC 11 eq/UD	5,46E-08	9,30E-07	6%
Acidification des sol et de l'eau	kg SO2 eq/UD	5,58E-04	4,20E-03	13%
Potentiel d'eutrophisation	kg(PO4)3- eq/UD	1,54E-04	6,80E-04	23%
Formation d'ozone photochimique	kg Ethylène eq/UD	1,26E-05	3,62E-04	3%
Epuisement des ressources abiotiques (élé)	kg Sb eq/UD	1,67E-07	3,43E-08	cf. note
Epuisement des ressources abiotiques (fo)	MJ/UD	1,92E+01	5,09E+01	38%
Pollution de l'eau	m3/UD	8,39E-02	1,17E+00	7%
Pollution de l'air	m3/UD	7,82E+00	5,23E+01	15%
Utilisation des ressources				
Energie renouvelable procédé	MJ/UD	1,02E+00	3,74E+00	27%
Energie renouvelable matière	MJ/UD	0,00E+00	0,00E+00	
Total énergie renouvelable	MJ/UD	1,02E+00	3,74E+00	27%
Energie non renouvelable procédé	MJ/UD	6,29E+00	3,74E+01	17%
Energie non renouvelable matière	MJ/UD	1,70E+01	1,70E+01	100%
Total énergie non renouvelable	MJ/UD	2,33E+01	5,44E+01	43%
Utilisation de matière secondaire	kg/UD	1,09E+00		
Combustibles secondaires renouvelables	MJ/UD	0,00E+00		
Combustibles secondaires non renouvelables	MJ/UD	0,00E+00		
Utilisation nette d'eau douce	m3/UD	2,83E-04	4,42E-02	1%

III.3. Limites au niveau économique

III.3.1 La viabilité économique du recyclage

Caractérisation et contexte économique des entreprises de recyclage du plastique en France

En France, les entreprises de recyclage des matières plastiques sont en grande majorité des PME, c'est-à-dire des entreprises de moins de 250 personnes et ayant un chiffre d'affaires annuel inférieur à 50 millions d'euros qui traitent de petits volumes de déchets plastiques. Environ un tiers des entreprises ont des marges négatives (figure 28). Le second tiers dispose de marges modérées (de 0 à 4%) et le dernier tiers dispose de marges plus confortables (plus de 4%). Ces faibles marges peuvent s'expliquer en partie par une forte concurrence pour certains types de plastique (plastiques PET en particulier),

ce qui se traduit par des quantités limitées de plastique à recycler et des installations qui tournent en sous-régime.

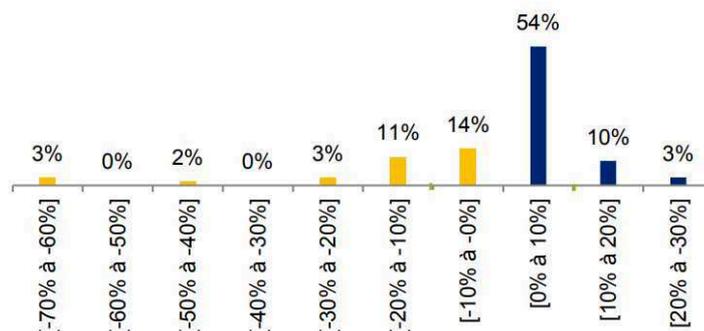


Figure 28 : Marges des recycleurs de plastiques français [123]

Dans la majorité des cas, les coûts globaux induits par le recyclage des matières plastiques (collecte, préparation, tri) ne sont pas couverts par les revenus générés par le recyclage. D'autres facteurs doivent également être pris en compte pour comprendre les difficultés auxquelles doivent faire face les professionnels du recyclage.

L'impact du prix du pétrole

Dans un marché des résines vierges compétitif où les prix sont en grande partie déterminés par les coûts de production, les variations du prix du pétrole, dont de nombreuses matières de base sont issues, ont un rôle essentiel [124].

Le marché des plastiques recyclés étant encore récent et surtout très limité, les prix ne sont pas déterminés par les coûts de production mais principalement par les alternatives concurrentes et, dans ce cas précis, le marché des résines vierges. De manière générale, les acheteurs de plastiques recyclés demandent une décote par rapport aux plastiques vierges. Celle-ci est susceptible de varier en fonction du type de résine et de sa qualité. Ainsi, lorsque le prix du baril de pétrole est bas, le prix des résines vierges fabriquées diminue également et provoque de façon systématique une baisse du prix de vente des plastiques recyclés (figure 29). Les marges des recycleurs de plastique diminuent et rendent donc difficile le développement d'une activité économiquement viable du fait de la présence de certains coûts incompressibles (collecte, tri, régénération). Lorsque le prix du pétrole augmente, le coût de fabrication des plastiques à partir de résines vierges augmente et rend l'utilisation de plastique recyclé plus attractive. [125].

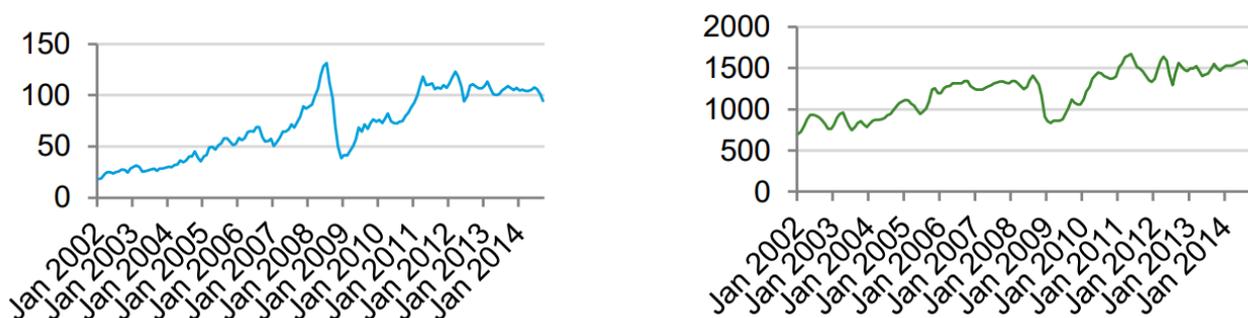


Figure 29 : Prix du baril de pétrole de 2002 à 2014 (en USD/baril) à gauche et prix du polypropylène de 2002 à 2014 à droite (en euros/tonne) [126]

La concurrence des pays asiatiques

L'Union européenne a collecté en 2010 environ 6,5 millions de tonnes de plastiques destinés au recyclage, soit 26% de la production totale de déchets plastiques. Plus de 3 millions de tonnes de ces déchets recyclables furent exportés dont 2,6 millions de tonnes en Chine, qui est le premier importateur de déchets plastiques dans le monde [127]. En comparaison, l'Allemagne, qui est le premier marché européen des plastiques recyclés importe 20 fois moins de déchets plastiques que la Chine. La concurrence représentée par le grand export, capable d'acheter à un prix supérieur à celui des recycleurs en Europe, est donc un frein au développement des activités de recyclage en Europe qui éprouvent des difficultés à se fournir en matière recyclée en quantité et en qualité suffisante. En France, les exportations de déchets plastiques sont quatre fois plus importantes que les importations [128]. Ces chiffres exposent une véritable fuite des matières principalement due à un coût du travail moindre dans les principaux pays importateurs alors que le coût de la main-d'œuvre représente environ 35% des coûts totaux de recyclage dans les pays européens (figure 30). Les recycleurs de plastique européens ne peuvent donc pas entrer en concurrence avec des entreprises capables d'acheter des déchets plastiques au prix fort tout en ayant un coût total de revient inférieur grâce à de faibles coûts de main-d'œuvre. Les changements de stratégie de la Chine (refus d'importation de déchets de basse qualité) pourraient changer à terme le schéma actuel.

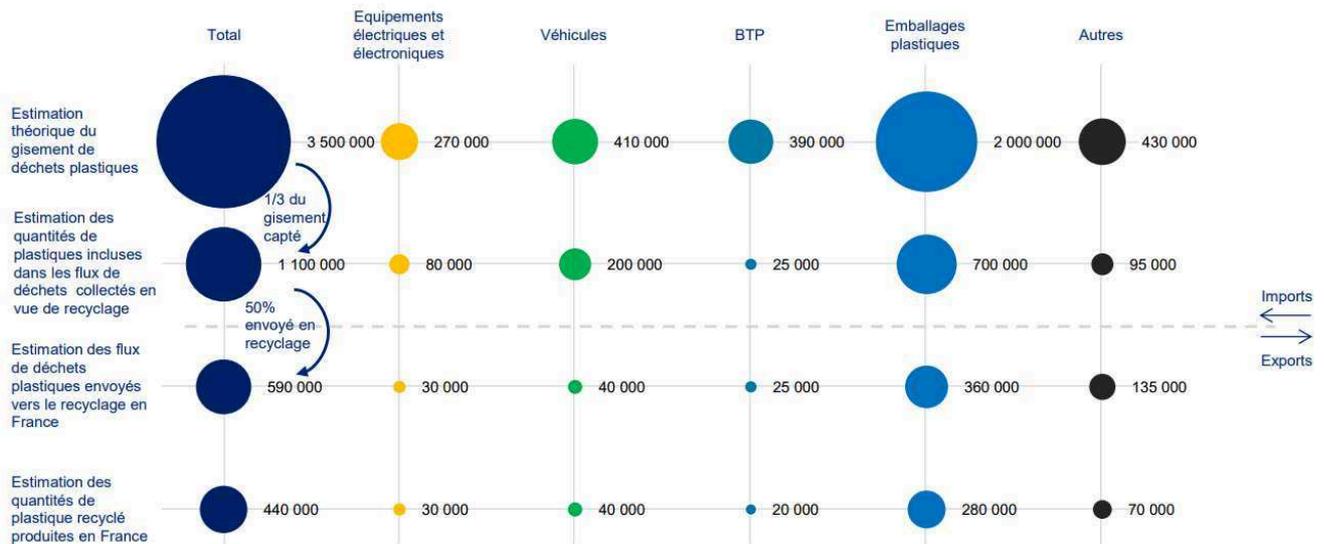


Figure 30 : Flux de déchets plastiques en France par origine (tonnes) en 2012 [129]

III.3.2 Les conséquences économiques de la gestion des substances dangereuses

Les déchets considérés comme dangereux doivent être envoyés en centre d'enfouissement technique (CET) de classe 1. Le coût moyen de la gestion de la tonne de déchet dangereux est estimé à 200 euros, sans compter une éventuelle stabilisation des déchets [130]. Les déchets non dangereux sont quant à eux envoyés en CET de classe 2 dont le coût est estimé à 80 euros par tonne. Dans l'optique d'un reclassement des déchets de plastiques PVC en déchets dangereux, les surcoûts engendrés par la gestion de ces déchets, qui représentent 11% des déchets plastiques, pourraient s'avérer substantiels.

Les coûts liés aux transports sont également à prendre en compte. L'obligation des entreprises de passer par un centre de traitement spécialisé, peu nombreux en France, augmenterait les coûts dédiés au transport des déchets. En France, 19 unités d'incinération des déchets dangereux (UIDD) et 18 installations de stockage des déchets dangereux (ISDD) sont actuellement en activité pour un total d'environ 130 incinérateurs et 250 centres d'enfouissement [131]. Les coûts liés au transport des substances dangereuses pourraient donc fortement augmenter.

Il est donc possible de se demander si les risques engendrés par ces plastiques sont une raison suffisante pour exposer les professionnels à des contraintes économiques induites par le reclassement de ces déchets en déchets dangereux. Une utilisation plus raisonnée de ces plastiques pourrait constituer un compromis intéressant, limitant ainsi l'exposition aux substances dangereuses et préservant les professionnels du secteur de difficultés économiques supplémentaires.

Ces contraintes pourraient également encourager les professionnels à avoir recours à des solutions alternatives illégales pour gérer leurs déchets plastiques contenant des substances réglementées par souci économique.

III.3.3 Les dérives de la gestion des substances dangereuses

Les décharges sauvages

Les décharges sauvages sont des lieux de stockage intempestifs de déchets créés, par des particuliers ou des entreprises, dans des environnements non dédiés au stockage des déchets. Les conséquences de la présence d'une décharge sauvage peuvent être nombreuses. Les pluies peuvent provoquer des ruissellements qui se chargent en substances toxiques et s'infiltrent dans les nappes souterraines. La fermentation des déchets peut former du méthane qui est un gaz à effet de serre et les déchets en contact avec le sol peuvent engendrer une contamination de celui-ci. Les autres risques concernent principalement la propagation de gènes pathogène, de rongeurs et de mouches. La catastrophe industrielle de Bhopal ayant eu lieu en Inde en 1984 est le parfait exemple des risques liés à une mauvaise gestion des déchets dangereux et à la présence de décharges sauvages ayant permis l'aggravation de l'accident. Le recours aux décharges sauvages permet aux entreprises de ne pas avoir à gérer leurs déchets et les coûts s'y rapportant. Dans une économie où les coûts de gestion des déchets ne cessent d'augmenter, la prolifération de ces décharges est une problématique réelle qu'il est essentiel de prendre en compte lors des réflexions sur le devenir des déchets plastiques.

Exportation illégale de déchets

Le transfert transfrontalier des déchets est une activité strictement encadrée par la réglementation européenne. Les principaux textes sont la convention de Bâle et le Règlement (CE) du Parlement européen et du Conseil n°1013/2006 du 14 juin 2006 relatif aux transferts de déchets. Les déchets sont catégorisés en deux groupes avec une liste verte qui contient les déchets qui ont peu d'impact sur la santé humaine et l'environnement et une liste orange qui contient les déchets qui représentant un danger. L'autorisation du pays d'expédition et du pays d'accueil des déchets est alors nécessaire.

Or, certains industriels peu scrupuleux tentent de contourner la réglementation en faisant passer les déchets pour des dons humanitaires d'équipements usagés. Étant considérés comme des biens de seconde main, ils ne sont pas dépollués et ne nécessitent pas l'accord des pays concernés pour être exportés. Les produits ne sont pas contrôlés et peuvent donc être exportés à moindre coûts vers des pays plus laxistes en termes de réglementation sur la gestion des déchets. Les DEEE sont tout particulièrement touchés par les exportations illégales. Le marché est depuis quelques années en expansion suite à l'augmentation des achats de matériels électroniques. Ceux-ci contenant de grandes quantités de métaux précieux, ils sont très recherchés par les filières de recyclage des pays d'Afrique et d'Asie. Les conséquences pour les populations locales sont désastreuses avec des risques élevés de pollution de l'environnement par les métaux et les conséquences sanitaires qui en résultent [132]. La filière automobile illégale est aussi importante et constitue à la fois un risque sanitaire et environnemental, un manque à gagner pour les sociétés européennes et des emplois en moins pour la filière.

L'augmentation des coûts de traitement des déchets en Europe pourrait provoquer une augmentation des exportations de DEEE et d'autres déchets dangereux vers des pays où les précautions pour la gestion des déchets sont insuffisantes et provoquent des catastrophes sanitaires et environnementales.

III.3.4 Pistes pour gérer les limites économiques

Développer et fortifier le secteur du recyclage

Comme indiqué précédemment, les entreprises du recyclage des matières plastiques sont en majorité des PME qui ne peuvent exploiter que des quantités

restreintes de déchets plastiques ce qui limite en conséquence leur développement. Il est essentiel que des mesures soient prises pour permettre aux entreprises d'avoir accès à des quantités plus importantes de matière afin de dynamiser le marché. Différentes propositions permettant d'y parvenir peuvent être citées. Dans un premier temps, l'augmentation de la collecte des déchets plastiques semble nécessaire. Seuls 29.7% des déchets plastiques sont recyclés en Europe ce qui indique une marge de progression très importante. Il est également important de faciliter le recyclage via une amélioration des techniques. L'État peut y participer en apportant une aide financière aux recherches en cours. Enfin, inciter les plasturgistes à écoconcevoir avec des matières recyclées, via des aides financières plus importantes lors de l'utilisation de plastiques recyclés ou bien des pénalités lorsque les plasturgistes n'incluent pas l'utilisation de plastique recyclé dans leurs procédés de fabrication qui utilisent des quantités trop importantes de résines vierges. Certaines aides sont déjà existantes, telles que ORPLAST, qui est un dispositif géré par l'ADEME pour promouvoir l'intégration des plastiques recyclés par les plasturgistes et les transformateurs [133]. Il est essentiel de soutenir et de développer ces aides afin de faciliter la transition vers une économie circulaire.

Cette proposition pose néanmoins la problématique de la qualité des plastiques recyclés, certains industriels préférant, pour des raisons techniques et/ou sanitaires, utiliser des résines vierges dont ils connaissent la composition (industrie du jouet par exemple).

En juillet 2017, la Chine a décidé d'interdire l'importation de certains déchets plastiques, les entreprises de recyclage du plastique y étant trop polluantes et les conditions de travail très difficiles. La Chine étant le premier importateur de déchets dans le monde, des quantités importantes de déchets plastiques devraient se retrouver disponibles en Europe, mais sans les entreprises pour les traiter (capacité, type de résine, qualités reçues...). Le risque d'un engorgement de ces usines est réel et se répercutera très probablement sur le prix de vente des plastiques, le marché risquant d'être saturé. L'Union européenne pourrait néanmoins transformer cette menace en opportunité en soutenant son industrie du recyclage et en particulier celle des plastiques, première touchée par ces restrictions d'importations. Ce soutien pourrait passer par une TVA circulaire ou des minimums d'utilisation de matières recyclées ou d'autres mécanismes économiques basés sur la réduction des impacts environnementaux (économies de carbone (ou de GES) et d'économie de ressources).

Avoir une utilisation raisonnée des déchets plastiques

L'une des pistes étudiées pour gérer les limites techniques auxquelles sont actuellement confrontés les professionnels du recyclage est l'utilisation raisonnée des déchets plastiques avec l'intégration des substances réglementées dans des applications spécifiques ou le risque est minoré. Cette proposition permettrait d'obtenir de nouvelles ressources exploitables pour les professionnels du recyclage et une diminution des coûts de gestion des déchets potentiellement dangereux pour les plasturgistes tout en limitant les risques. Elle nécessiterait cependant une traçabilité complète des matières, depuis le statut de déchets jusqu'au produit en passant par le plastique régénéré.

CONCLUSION

L'Union européenne affiche depuis quelques années sa volonté de mettre en place une économie circulaire centrée sur le recyclage, la valorisation énergétique et l'économie de ressources. Des réglementations telles que la directive véhicule hors d'usage, la réglementation portant sur les déchets d'équipements électriques et électroniques ou encore la directive-cadre sur les déchets ont été adoptées en ce sens. Celles-ci fixent des objectifs de recyclage afin d'encourager les Etats membres à mettre en place des politiques visant à favoriser le recyclage au détriment de l'incinération et de l'enfouissement.

En parallèle, l'Union a également mis en place différentes réglementations visant à limiter la présence de substances chimiques dans les produits telles que REACH, la réglementation CLP et la directive RoHS. Elles obligent les différents acteurs, qu'ils soient fabricants, importateurs ou utilisateurs, à enregistrer les substances chimiques utilisées dans la fabrication des produits, à partager leur composition et à s'assurer que leur concentration n'excède pas les limites réglementaires.

Les plastiques sont tout particulièrement concernés par ces réglementations. Facilement recyclables et très demandés, ils ont permis le développement d'une économie de la revalorisation qui permet aujourd'hui la production de millions de tonnes de plastiques recyclés chaque année en Europe.

Cependant, ces plastiques peuvent contenir des substances réglementées héritées du passé très variées qui posent aujourd'hui des problèmes aux professionnels de la plasturgie et du recyclage. Certains plastiques contiennent des retardateurs de flamme bromés reconnus comme étant perturbateurs endocriniens, des métaux lourds cancérigènes tels que le plomb et le cadmium ou bien des plastifiants toxiques pour la reproduction.

Ces substances qui sont aujourd'hui réglementées et peu ou plus utilisées en plasturgie peuvent néanmoins être présentes dans des plastiques fabriqués avant la mise en place de ces réglementations et se retrouvent désormais dans les déchets plastiques.

Les réglementations déchets et substances se font donc face avec d'un côté les réglementations déchets qui imposent des objectifs de recyclage toujours plus élevés et de l'autre les réglementations substances qui souhaitent limiter la présence de substances dangereuses dans les produits.

Les professionnels du recyclage sont confrontés à diverses contraintes qui rendent difficile le respect de ces réglementations. Au niveau réglementaire, les différentes réglementations sur les déchets ne sont pas encore suffisamment incitatives en ce qui concerne le recyclage et contraignantes en ce qui concerne le stockage et l'incinération. En outre, les objectifs de recyclage fixés pourraient être difficilement atteignables si certains plastiques, comme les PVC, venaient à être interdits de recyclage.

Au niveau technique, les technologies actuelles ne permettent ni de garantir le respect des réglementations substances pour tous les plastiques recyclés ni de purifier les plastiques contenant des concentrations élevées en substances réglementées. Les différents modes de traitement des déchets disposent chacun d'inconvénients. Le recyclage peut permettre la formation de substances secondaires, l'incinération génère des résidus très toxiques et l'enfouissement ne permet que de déplacer dans le temps le problème des déchets et est à risque pour l'environnement.

Au niveau économique, la concurrence des pays étrangers, l'impact du prix du pétrole et les coûts de gestion des déchets dangereux peuvent amener certains professionnels peu scrupuleux à mettre leurs déchets dans des décharges sauvages ou à les exporter vers des pays où la réglementation est moins stricte et où les risques pour la santé humaine et l'environnement sont élevés.

Parmi les pistes qui peuvent être envisagées, une utilisation plus raisonnée des plastiques recyclés afin de les inclure dans des applications précises où le risque est maîtrisé permettrait à la fois de recycler des quantités plus importantes de plastique mais également de gérer ceux contenant des substances réglementées. Cela nécessitera néanmoins une traçabilité du plastique tout le long de son cycle de vie. Une analyse au cas par cas des substances sera également impérative afin d'étudier les substances pour lesquelles cette proposition est possible.

Enfin, pour que ces propositions aient un réel impact et une réelle utilité, il sera nécessaire de contrôler de façon plus systématique les produits plastiques provenant de pays situés hors de l'Union européenne. Ceux-ci ne sont à l'heure actuelle que très peu contrôlés et l'importation de produits non conformes est possible. Il est donc nécessaire de se demander si les produits importés respectent la réglementation sur les substances chimiques et si ce n'est pas le cas, quels sont les impacts sur les entreprises européennes qui les respectent (problématique de concurrence déloyale avec des produits moins chers car moins contrôlés).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Site valorplast.com : Le recyclage des matières plastiques en Europe <<http://www.valorplast.com/tous-recycleurs/cote-recyclage/tour-deurope/>> (Consulté le 15/09/2017)
- [2] Conseil européen, Directive 67/548/CEE, 27/06/1967 : Le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses, 98 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31967L0548&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [3] Conseil européen, Directive 88/379/CEE, 07/06/1988 : Rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des préparations dangereuses, 17 pages <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31988L0379:FR:HTML>> (Consulté le 15/09/2017)
- [4] Conseil Européen, Directive 76/769/CEE, 27/07/1976 : Rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses, 3 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31976L0769&from=fr>> (Consulté le 15/09/2017)
- [5] Conseil Européen, Directive 79/831/CEE, 18/09/1979 : Sixième modification de la directive 67/548/CEE concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses, 19 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31979L0831&from=fr>> (Consulté le 15/09/2017)
- [6] Conseil Européen, Règlement (CEE) n° 793/93, 23/03/1993 : Evaluation et contrôle des risques présentés par les substances existantes, 75 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993R0793&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [7] Commission des communautés européennes, 27/02/2001 : LIVRE BLANC : Stratégie pour la future politique dans le domaine des substances chimiques, 37 pages
- [8] Parlement et Conseil européens, 18/12/2006 : L'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), 520 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20140410&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [9] Site de l'ECHA : identification des substances [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/fr/regulations/reach/substance-identity>> (Consulté le 15/09/2017)
- [10] Site de l'ECHA : REACH-IT [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/fr/support/dossier-submission-tools/reach-it>> (Consulté le 15/09/2017)
- [11] Site de l'ECHA : Statistiques de REACH [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/fr/regulations/reach/registration/registration-statistics/detailed-registrations-statistics>> (Consulté le 15/09/2017)
- [12] Site de l'ECHA : Autorisation [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/fr/regulations/reach/autorisation>> Consulté le 15/09/2017
- [13] ECHA, 12/11/2012, Applications for Authorisation: processes and procedural steps, 28 pages
- [14] Site Reach-info.ineris.fr : Calendrier de l'avancement des enregistrements dans le cadre de REACH [en ligne] Disponible sur : <http://reach-info.ineris.fr/reach_que_faire> (Consulté le 24/09/2017)
- [15] ECHA, 09/12/2013, SVHC Roadmap to 2020 Implementation Plan, 38 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/19126370/svhc_roadmap_implementation_plan_en.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [16] Conseil de l'Union Européenne, 6 février 2013 : Roadmap on Substances of Very High Concern, 15 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%205867%202013%20INIT>> (Consulté le 15/09/2017)
- [17] Site de l'ECHA : Évaluation des substances - plan d'action continu communautaire [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>> Consulté le 15/09/2017
- [18] Site Reach-info.ineris.fr : Feuille de route SVHC de REACH [en ligne] Disponible sur : <<http://reach-info.ineris.fr/focus/les-rmoa-et-le-pact>> (Consulté le 24/09/2017)

- [19] Parlement et Conseil européen, 16/12/2008 : RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1272&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [20] Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (Convention-POP), 15/12/2016, 60 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20021480/201612150000/0.814.03.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [21] Parlement et Conseil Européen DIRECTIVE 2002/95/CE, 27 janvier 2003 : Limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, 5 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:fr:PDF>> (Consulté le 15/09/2017)
- [22] Parlement et Conseil Européen DIRECTIVE 2011/65/UE, du 8 juin 2011 : Limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, 23 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:fr:PDF>> (Consulté le 15/09/2017)
- [23] Commission des communautés européennes, 26/07/2000 : Livre vert Problèmes environnementaux du PVC, 43 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://ec.europa.eu/environment/waste/pvc/pdf/fr.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [24] Agence de l'Environnement de la Maîtrise de l'Energie, juillet 2005 : Caractérisation des plastiques contenus dans les DEEE et état des lieux de la valorisation de ces plastiques, page 21, 153 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ordi-linux.org/IMG/pdf/plastiques-deee.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [25] Commission Européenne, 2005 : Écoconception pour les appareils consommateurs d'énergie <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM:l32037>> Consulté le 15/09/2017
- [26] Parlement et Conseil Européen Directive 2009/125/CE, 21 octobre 2009 : Fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 26 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [27] Site eco-conception.fr : Analyse du Cycle de Vie (ACV) [en ligne] Disponible sur : <<https://www.eco-conception.fr/static/analyse-du-cycle-de-vie-acv.html>> (Consulté le 15/09/2017)
- [28] The office of public health, 09/1978 : Love Canal : Public Health time bomb, 09/1978, 36 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.health.ny.gov/environmental/investigations/love_canal/lctimbmb.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [29] Broughton E : The Bhopal disaster and its aftermath: a review. Environmental Health. 2005;4:6 [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1142333/pdf/1476-069X-4-6.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [30] PNUE, 05/05/1992 : Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, 123 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-f.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [31] Parlement et Conseil Européen, 19/11/2008 : Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives, 28 pages <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=FR>> (Consulté le 15/09/2017)
- [32] Site laplasturgie.fr : Sortie du statut de déchet : avantages et inconvénients [en ligne] Disponible sur : <<https://www.laplasturgie.fr/sortie-du-statut-de-dechet-avantages-et-inconvenients/>> (Consulté le 15/09/2017)
- [33] Site legifrance.gouv.fr : Arrêté du 29 juillet 2014 fixant les critères de sortie du statut de déchet pour les broyats d'emballages en bois pour un usage comme combustibles de type biomasse dans une installation de combustion [en ligne] Disponible sur : <<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=?cidTexte=JORFTEXT000029346955&dateTexte=&oldAction=dernierJO&categorieLien=id>> (Consulté le 15/09/2017)
- [34] Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'Energie : Programme national de prévention des déchets 2014-2020, 146 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Programme_national_prevention_dechets_2014-2020.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [35] Record, 02/2014, Sortie du statut de déchet Transposition et pratiques dans les différents Etats membres de l'Union européenne, 77 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.record-net.org/storage/etudes/12-0147-1A/rapport/Rapport_record12-0147_1A.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [36] Parlement et Conseil Européen, 04/07/2012, DIRECTIVE 2012/19/UE : Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), 34 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:fr:PDF>> (Consulté le 15/09/2017)

- [37] ADEME, juin 2016 Etude sur la transposition de la directive DEEE en Europe (rapport final) - Partie 2 : Fiches pays détaillées, 314 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/transposition-deee-fiches-pays-201606-rapport.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [38] Observatoire Régional de la Santé Rhône-Alpes, 12/2014 : Les retardateurs de flamme bromés, 4 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ors-rhone-alpes.org/environnement/pdf/dossier12.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [39] Site ineris.fr : Directive n° 2000/53/CE du 18/09/00 relative aux véhicules hors d'usage [en ligne] Disponible sur : <http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/1003> (Consulté le 15/09/2017)
- [40] Site ecologie-solidaire.gouv.fr : Véhicules hors d'usage [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/vehicules-hors-dusage>> Consulté le 15/09/2017
- [41] UNEP, 07/2012 : Directives pour l'inventaire des polybromodiphényléthers (PBDE) inscrits sur la liste de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants, page 57, 120 pages <<http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-NIP-GUID-InventoryPBDE.Fr.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [42] Site ineris.fr : Directive n° 94/62/CE du 20/12/94 relative aux emballages et aux déchets d'emballages [en ligne] Disponible sur : <http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/1035> (Consulté le 15/09/2017)
- [43] Livre vert sur une stratégie européenne en matière de déchets plastiques dans l'environnement [en ligne] Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0123&from=FR>> Consulté le 15/09/2017
- [44] Parlement européen, 07/02/2017 : RAPPORT sur la proposition de directive du Parlement européen et du Conseil modifiant la directive 1999/31/CE du Conseil concernant la mise en décharge des déchets, page 9, 56 pages
- [45] Rapport AEE n° 7/2012, 2012 : Movements of waste across the EU's internal and external borders, page 22, 40 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.eea.europa.eu/publications/movements-of-waste-EU-2012/at_download/file> (Consulté le 15/09/2017)
- [46] Commission du marché intérieur et de la protection des consommateurs, 07/2017 : RAPPORT sur une durée de vie plus longue des produits : avantages pour les consommateurs et les entreprises, 14 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT%20REPORT%20A8-2017-0214%200%20DOC%20XML%20V0//FR>> Consulté le 15/09/2017
- [47] Nicolas Susperregui, 05/11/2010 : Étude théorique de la polymérisation d'esters par voie organométallique et organique, 203 pages
- [48] Cadinot Mélanie, 19/12/2008 : Nouveaux procédés d'élaboration des polymères à empreintes moléculaires, 146 pages
- [49] Thevenin Anthony, 09/10/2013 : Relations structure/propriétés thermomécaniques élongationnelles de films polymères thermoplastiques, 247 pages.
- [50] Philippe Lours, Fabien Baillon, 24/03/2015 : Au Cœur des Matériaux Cristallins, Structure amorphe et structure semi-cristalline des polymères [en ligne] Disponible sur : <http://nte.mines-albi.fr/SciMat/co/SM_uc1-5-4.html> (Consulté le 24/09/2017)
- [51] Floriane Morel, 19/09/2012 : Compréhension des phénomènes interfaciaux dans les composites à base de charges carbonate de calcium précipité : influence du traitement de surface et du procédé de mise en œuvre, 291 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00733711/document>> (Consulté le 24/09/2017)
- [52] Hans-Henning Kausch : Matériaux polymères, propriétés mécaniques et physiques, 387 pages
- [53] Kavlock R, Boekelheide K, Chapin R, Cunningham M, Faustman E, Foster P, Golub M, Henderson R, Hinberg I, Little R, Seed J, Shea K, Tabacova S, Tyl R, Williams P, Zacharewski T, 2002, NTP Center for the Evaluation of Risks to Human Reproduction : Phthalates expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of di-n-hexyl phthalate. Reprod Toxicol 16 : 709–719
- [54] Site Sigmaaldrich.com : Trimethyl 1,2,4-benzenetricarboxylate [en ligne] Disponible sur : <http://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/structure8/180/mfcd00043629.eps/_jcr_content/renditions/mfcd00043629-medium.png> (Consulté le 24/09/2017)
- [55] Site MERCK : 801453 | Bis(éthyle-2-hexyle) adipate [en ligne] Disponible sur : <https://www.merckmillipore.com/FR/fr/product/Bis%282-ethylhexyl%29-adipate,MDA_CHEM-801453?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.fr%2F&bd=1> (Consulté le 24/09/2017)
- [56] Jean-Luc Charvolin, 2013 : Conception des pièces plastiques injectées, page 92, 275 pages

- [57] Jean-Luc Charvolin, 2013 : Conception des pièces plastiques injectées, page 97, 275 pages
- [58] Ministère de l'environnement néo-zélandais : Appendix B Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) structure and physical properties [en ligne] Disponible sur : <<http://www.mfe.govt.nz/publications/hazards/executive-summary/appendix-b-polybrominated-diphenyl-ether-pbde-structure-and>> (Consulté le 24/09/2017)
- [59] Stéphane GIROIS : Stabilisation des plastiques, Principes généraux, page 6, 14 pages
- [60] Vinyl 2010, Reporting on the activities of the year 2010, page 27, 46 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.roofcollect.com/pressepdf/vinyl_2010_2010_eng.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [61] Imane Belyamani, 08/11/2011 : Développement d'un matériau thermoplastique biodégradable et hydrosoluble à base d'une protéine du lait, 215 pages
- [62] Site AZOM.com : Thermoplastics - An Introduction [en ligne] Disponible sur : <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=83>> (Consulté le 24/09/2017)
- [63] Site Wikipedia.org : Polymérisation [en ligne] Disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Polym%C3%A9risation>> (Consulté le 24/09/2017)
- [64] Lithner D, Nordensvan I, Dave G, 2012. Comparative acute toxicity of leachates from plastic products made of polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile-butadiene-styrene, and epoxy to *Daphnia magna*. Environ Sci Pollut Res Int. 2012;19: pages 1763–1772
- [65] Site Wikipedia.org : Polymérisation du propylène [en ligne] Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Polym%C3%A9risation_du_propyl%C3%A8ne.svg> (Consulté le 24/09/2017)
- [66] Jason B. Matthews, Ken Twomey, and, and Timothy R. Zacharewski, In Vitro and in Vivo Interactions of Bisphenol A and Its Metabolite, Bisphenol A Glucuronide, with Estrogen Receptors α and β Chemical Research in Toxicology 2001 14 (2), pages 149-157
- [67] Site Essentialchemicalindustry.org : Polycarbonates [en ligne] Disponible sur : <<http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polycarbonates.html>> (Consulté le 24/09/2017)
- [68] Schecter, Arnold et al., 2012 "Hexabromocyclododecane (HBCD) Stereoisomers in U.S. Food from Dallas, Texas." Environmental Health Perspectives 120.9 (2012): pages 1260–1264
- [69] Polymer science learning center : Polystyrène [en ligne] Disponible sur : <<http://pslc.ws/french/styrene.htm>> (Consulté le 24/09/2017)
- [70] Shotyk W, Krachler M, Chen B. Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers. J Environ Monit. 08/02/2006, pages 288-292
- [71] Loyo-Rosales JE, Rosales-Rivera GC, Lynch AM, Rice CP, Torrents A. (2004). Migration of Nonylphenol from Plastic Containers to Water and a Milk Surrogate. J Agric Food Chem, 52: pages 2016–20
- [72] Site Saylordotorg.github.io : Preparation of Esters [en ligne] Disponible sur : <https://saylordotorg.github.io/text_the-basics-of-general-organic-and-biological-chemistry/s18-08-preparation-of-esters.html> (Consulté le 24/09/2017)
- [60] Kumar, A., & Pastore, P., 25/09/2007. Lead and cadmium in soft plastic toys. Current Science, 93(6), pages 818-822
- [73] Site lavalorisationdesdechets.com : Mais de quoi est composé le plastique ? [en ligne] Disponible sur : <<http://lavalorisationdesdechets.e-monsite.com/pages/valorisation-de-matiere/mais-de-quoi-est-compose-le-plastique.html>> (Consulté le 24/09/2017)
- [74] Conseil National de Recherches Canada, 1975 : Les plastiques thermodurcissables, 8 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/eng/view/accepted/?id=44bb6f7f-3691-4c2a-8f4e-bcffb3f9099e>> Consulté le 15/09/2017
- [75] INRS, 2006 : Diisocyanate de toluylène Fiche toxicologique n°46
- [76] INRS, 01/1999 : Produits de dégradation thermique des matières plastiques <<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202097>> (Consulté le 15/09/2017)
- [77] Site du Syndicat National des PolyUréthanes (SNPU) : Que deviennent les déchets du polyuréthane en fin de vie ? [en ligne] Disponible sur : <<http://snpu.fr/developpement-durable/fin-de-vie-du-pu/>> Consulté le 15/09/2017
- [78] Site Zookeepersblog.wordpress.com : NCERT CBSE Standard 12 Chemistry Polymers Chapter 15 SKMClasses South Bangalore Subhashish Sir [en ligne] Disponible sur : <<https://zookeepersblog.wordpress.com/ncert-cbse-standard-12-polymers-chapter-15/>> (Consulté le 24/09/2017)

- [79] R. Poillucci , C. Hansen, 03/08/2013 : Reducing use of styrene monomers in unsaturated polyesters resins, 19th International conference on composite materials, 8 pages
<https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiJ5JDCodTVAhV oBsAKHffZDB0QFghNMAU&url=http%3A%2F%2Fconfsys.encs.concordia.ca%2FICCM19%2FAIPapers%2FFinalVersion%2FHAN81334.pdf&usg=AFQjCNFTO-cSoRAKZvSdajvDdK_fQ7HPtA> (Consulté le 15/09/2017)
- [80] Site cancer-environnement : Classification des substances cancérogènes par le CIRC [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cancer-environnement.fr/226-Classification-du-CIRC.ce.aspx>> (Consulté le 15/09/2017)
- [81] Site sciences-physiques.ac-montpellier.fr : Polymères [en ligne] Disponible sur : <<http://sciences-physiques.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/Famille/Polymere.html>> (Consulté le 24/09/2017)
- [82] Danish technological institute, 15/01/2013 : Hazardous substances in plastic materials, 151 pages
[en ligne] Disponible sur : <<http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/3017/ta3017.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [83] Site Plasticseurope.org : Plastics - the Facts 2016 [en ligne] Disponible sur : <<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FolID=2>> (Consulté le 24/09/2017)
- [84] Commissariat général du développement durable, 04/2016 : Pourquoi il faut améliorer la taxe sur l'élimination des déchets, 4 pages [en ligne] Disponible sur : <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0084/Temis-0084153/Point_228.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [85] Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (Convention-POP), 04/05/2009 : Listing of hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, 2 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-COP.4-SC-4-14.English.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [86] Swedish Environmental Protection Agency Press Release, 28 June 1996, "Manufacturers Liability Includes Recycling PVC Plastics", released in connection with the publication of: Hagstrom P, Oberg K. Disposal of PVC Waste, Naturvårdsverket
- [87] FCBA, 01/2013 : Etude bibliographique sur les émissions de formaldéhyde des bois collés, 7 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.fcba.fr/sites/default/files/fcbainfo_4_2013_glabat_etude_bibliographique_formal/dehyde.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [88] Martin Schlummer, Andreas Maurer, Svetlana Wagner, Arthur Berrang, Tanja Fell and Fabian Knappich, 15/05/2017 : Recycling of flame retarded waste polystyrene foams (EPS and XPS) to PS granules free of hexabromocyclododecane (HBCDD), Omics online
- [89] Règlement REACH : Annexe XVII entrée 23
- [90] Règlementation POP : Annexe I entrée du pentaBDE
- [91] ADEME, 06/11/2014 : Emballages industriels, commerciaux et ménagers, 16 pages [en ligne] <<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/emballages-icm-2012-8227.pdf>> (Consulté le 15/09/2017)
- [92] Laboratoire centrale des ponts et chaussées ; 10/2009 : Identification et dosage par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier des coppolymères SBS et EVA dans les liants bitumeux, 20 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/MethodeDEssai/MethodeDEssai-LCPC-ME71.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [93] Site Culturescience.chimie.ens.fr : Introduction à la spectroscopie Infrarouge (I.R.). [en ligne] Disponible sur : <<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/introduction-a-la-spectroscopie-infrarouge-ir-754>> (Consulté le 24/09/2017)
- [94] Farenc Mathilde, 29/05/2017 : Apports de la mobilité ionique couplée à la spectrométrie de masse pour l'analyse des matrices complexes, 216 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01528340/document>> Consulté le 15/09/2017
- [95] Site chemical and engineering news : Doubling Up On Mass Analysis [en ligne] Disponible sur : <<https://pubs.acs.org/cen/coverstory/88/8813cover3.html>> (Consulté le 24/09/2017)
- [96] Guzzonato A, Puype F, Harrad SJ. Improving the accuracy of hand-held X-ray fluorescence spectrometers as a tool for monitoring brominated flame retardants in waste polymers. Chemosphere, 09/2016 ;159:89-95 [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27281541>> (Consulté le 15/09/2017)

- [97] Abdellah Sbgoud : Diagnostic environnemental de la gare routière (pollution atmosphérique par TSP et métaux lourds [en ligne] Disponible sur : <http://www.memoireonline.com/08/11/4675/m_Diagnostic-environnemental-de-la-gare-routiere-pollution-atmospherique-par-TSP-et-métaux-lourds5.html> (Consulté le 24/09/2017)
- [98] Jin YU et Vincent MOTTO-ROS, 01/2013 : Spectroscopie du plasma induit par laser pour l'analyse de matière organique, 6 pages <<https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2013/01/photon201363p38.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [99] Francisco AlamillaOrellana et al., 01/2013 : Applications of laser-ablation-inductively-coupled plasma-mass spectrometry in chemical analysis of forensic evidence, 34 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993612002877>> (Consulté le 24/09/2017)
- [80] ADEME, 2012 : Etat de l'art des technologies d'identification et de tri des déchets, 169 pages
- [100] Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (Convention-POP), 15/12/2016, 60 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20021480/201612150000/0.814.03.pdf>> (Consulté le 24/09/2017)
- [101] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Circulaire du 30 novembre 2012 relative à la gestion des plastiques issus des déchets d'équipements électriques et électroniques
- [102] laplasturgie.fr 11/2014 : Prix des principales matières premières et évolution 13 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.laplasturgie.fr/wp-content/uploads/2014/12/Demo-Barometre.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [103] Marcoux M.-A., Matias M., Olivier F. Substances émergentes, polluants émergents dans les déchets : Analyse et prospective. Etude RECORD n°10-0143/1A, juin 2012, 182 p
- [104] laplasturgie 04/10/2011 / Point sur les procédés de recyclage des plastiques en France, 11 pages
- [105] Ortuno N., Lundstedt S., Lundin L. Emissions of PBDD/Fs, PCDD/Fs and PBDEs from flameretarded high-impact polystyrene under thermal stress. Chemosphere 123 (2015) 64–7
- [106] Clausen PA, Liu Z, Kofoed-Sørensen V, Little J, Wolkoff P. : Influence of temperature on the emission of di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) from PVC flooring in the emission cell FLEC. Environ Sci Technol. 177/01/2012 ;46(2):909-15 <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22191658>> Consulté le 15/09/2017
- [107] INRS, 1999 : Produits de dégradation thermique des matières plastiques, 12 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ND/TI-ND-2097/nd2097.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [108] Site de Knauf industries : La valorisation énergétique [en ligne] Disponible sur : <<http://www.knauf-industries.com/recyclage-du-pse/la-valorisation-energetique.html>> Consulté le 15/09/2017
- [109] Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I, Jolley D, Walls P, Beresford J et al. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. Br J Cancer 03/1996 ;73(5):702-10
- [110] Elliott P, Eaton N, Shaddick G, Carter R. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. Part 2: histopathological and case-note review of primary liver cancer cases. Br J Cancer 03/2000 ;82(5):1103-6
- [111] Comba P, Ascoli V, Belli S, Benedetti M, Gatti L, Ricci P, et al. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. Occup Environ Med 09/2003 Sep;60(9):680-3
- [112] Site Cancer-environnement.fr : Les dioxines [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cancer-environnement.fr/367-Dioxines.ce.aspx>> (Consulté le 24/09/2017)
- [113] Cancer-environnement, 16/05/2017 : Les dioxines [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cancer-environnement.fr/Default.aspx?TabId=367&genPdf=1>> (Consulté le 15/09/2017)
- [114] Stéphane Abanades, Gilles Flamant et Daniel Gauthier, 2002 : Simulation du comportement des métaux lourds dans les procédés d'incinération d'ordures ménagères, 6 pages [en ligne] Disponible sur : <http://lodel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/docannexe/file/2369/4_abanades.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [115] Site Cancer-environnement.fr : Le cadmium [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cancer-environnement.fr/367-Cadmium.ce.aspx>> (Consulté le 24/09/2017)
- [116] Arrêté du 3 août 2010 modifiant l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux <<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022727297&categorieLien=id>> (Consulté le 15/09/2017)

- [117] Site du CNIID : Les risques environnementaux et sanitaires liés à l'incinération [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cniid.org/Les-risques-environnementaux-et-sanitaires,16>> Consulté le 15/09/2017
- [118] Site cercle-recyclage.asso.fr : Quel devenir pour les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères [en ligne] Disponible sur : <<https://www.cercle-recyclage.asso.fr/mediatheque/publications-de-l-association/dossiers/54-cercle-national/publi/dossiers/materiaux/537-mache03-quel-devenir-pour-les-machefers-dincineration-dordures-menageres-.html>> (Consulté le 24/09/2017)
- [119] Syndicat national du traitement et de la valorisation des déchets urbains et assimilés, 12/2000 : Protocole technique pour la détermination du potentiel polluant des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, 14 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.fedene.fr/sites/default/files/u277/FG3E-FR_MIOM_Protocole.pdf> (Consulté le 15/09/2017)
- [120] Association amorce, 03/2012 : La gestion des REFIOM des UIOM françaises, 13 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/fd/8b/fd8b504f-e89a-4969-a90d-87005161b651/dt42_rapport_refiom_modifie_.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [121] Swedish Chemical Agency, 12/2012 : Material Recycling without Hazardous Substances, 88 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.kemi.se/global/pm/2012/pm-14-12-recycled-materials.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [122] Site srp-recyclage-plastiques.org : Comparaison de l'Ecoprofil de un kg de MPR sortie usine, avec un kg de résine vierge [en ligne] Disponible sur : <<http://www.srp-recyclage-plastiques.org/images/pdf-documents/icv-des-mrp/comparaison-kg-vs-kg-2.pdf>> (Consulté le 24/09/2017)
- [123] Rapport ADEME-2ACR : Analyse de la chaîne de valeur du recyclage des plastiques en France, 36 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.2acr.eu/content/download/682155/7579383/file/Synthese_chaineValeurRecyclagePlastiqueFrance.pdf> (Consulté le 24/09/2017)
- [124] Jonathan C. Weinhagen, 12/2006 : Price transmission: from crude petroleum to plastics products, 10 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.bls.gov/opub/mlr/2006/12/art4full.pdf>> Consulté le 15/09/2017
- [125] Association Alliance Chimie Recyclage, 23/03/2015, Analyse de la chaîne de valeur du recyclage des plastiques en France, 36 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.2acr.eu/content/download/682155/7579383/file/Synthese_chaineValeurRecyclagePlastiqueFrance.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [126] Site du Comité Français du Propane et du Butane : Directive ecodesign et labelling [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cfbp.fr/gpl-maitrise-de-l-energie/directive-ecodesign-labelling-n593>> (Consulté le 24/09/2017)
- [127] International solid waste association, 07/2014 : Global recycling markets: plastic waste, 66 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task_Forces/TFGWM_Report_GRM_Plastic_China_LR.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [128] Fédération de la plasturgie, 03/07/2012 : Le recyclage des plastiques en France, 19 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.innovdays-plasturgie.com/innovdays/Illustrations/Documents/InnovDays/2012/20120703_recyclage_polymeres/2_point%20sur%20le%20recyclage%20des%20matieres%20plastiques%20en%20france_federation%20de%20la%20plasturgie.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [129] Parlement et Conseil Européen, 04/07/2012, DIRECTIVE 2012/19/UE : Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), 34 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:fr:PDF>> (Consulté le 24/09/2017)
- [130] Site flandres analyses.com : Analyse de déchet pour diminution du coût de traitement [en ligne] Disponible sur : <<https://www.flandres-analyses.com/analyse-de-dechet/>> Consulté le 15/09/2017
- [131] Site SINOE : liste des installations d'incinération et de stockage des déchets dangereux [en ligne] Disponible sur : <<http://www.sinoe.org/filtres/index/filtres>> Consulté le 15/09/2017
- [132] European union action to fight environmental crime, 01/2015 : Illegal shipment of e-waste from the EU [en ligne] Disponible sur : <http://efface.eu/sites/default/files/EFFACE_Illegal%20shipment%20of%20e%20waste%20from%20the%20EU.pdf> Consulté le 15/09/2017
- [133] Site de l'ADEME, 08/01/2016 : ORPLAST 2016 [en ligne] Disponible sur : <<https://appelsaprojets.ademe.fr/aap/ORPLAST2016-12-1>> Consulté le 15/09/2017

- [134] Site Pubchem : 1,2,3-Trichloropropane [en ligne] Disponible sur : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_2_3-trichloropropane#section=Top> Consulté le 21/09/2017
- [135] ECHA, 08/2011 : Proposal for identification of a substance as a CMR, 31 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/e3f2c73b-1fcd-4106-85f0-698a6204063d>> Consulté le 21/09/2017
- [136] European Union, 02/2008 : risk assessment report for 2,4 Dinitrotoluene [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/b1176fd0-799d-4c08-a908-755a1c82181f>> Consulté le 21/09/2017
- [137] ECHA, 16/11/2009 : Comments and response to comments on annexe XV SVHC : proposal and justification, 8 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/13638/svhc_rcom_final_cc012636-63_24-dinitrotoluene_non-conf_en.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [138] Site de l'INRS : 4,4'-diaminodiphénylméthane : Fiche toxicologique n° 218 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_218§ion=pathologieToxicologi> Consulté le 21/09/2017
- [139] Site de l'INRS : Nonylphénol et 4-nonylphénol ramifié : Fiche toxicologique n° 249 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_249> Consulté le 21/09/2017
- [140] INERIS, 28/06/2012 : Nonylphénols éthoxylates [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/3048>> Consulté le 21/09/2017
- [141] Site de l'INRS : Acide perfluorooctanoïque et ses sels (PFOA et ses sels) : Fiche toxicologique n° 300 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_300> Consulté le 21/09/2017
- [142] ATSDR, date inconnue : Background and environmental exposures to acrylamide in the united states, 10 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp203-c2.pdf>> Consulté le 21/09/2017
- [143] Site de l'INRS : Acrylamide : Fiche toxicologique n° 119 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_119> Consulté le 21/09/2017
- [144] Site ville.montreal.qc.ca [en ligne] Disponible sur : <http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,74837835&_dad=portal&_schema=PORTAL> Consulté le 21/09/2017
- [145] INERIS : 21/03/2006 : Benzène, 74 pages [en ligne] Disponible sur : <http://www.cancer-environnement.fr/Portals/0/Documents%20PDF/Rapport/INERIS/2006_INERIS_Benz%C3%A8ne.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [146] USCPSC, 01/04/2010 : Toxicity review of DEHP, 329 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/ToxicityReviewOfDEHP.pdf>> Consulté le 21/09/2017
- [147] INERIS, 10/10/2010 : Bisphenol A, 77 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/3794>> Consulté le 21/09/2017
- [148] Site de l'INRS : Bisphénol A : Fiche toxicologique n° 279 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_279> Consulté le 21/09/2017
- [149] Site de l'INRS : Bisphénol S : Fiche toxicologique n° 297 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_297> Consulté le 21/09/2017
- [150] UE, 2007 : European Union Risk Assessment Report, benzyl butyl phthalate (BBP), 274 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/bad5c928-93a5-4592-a4f6-e02c5e89c299>> Consulté le 21/09/2017
- [151] UE, 1999 : European Union Risk Assessment Report, alkanes, C10-13, chloro, 176 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/f343cb93-2c44-4f19-91e8-4c0730edf604>> Consulté le 21/09/2017
- [152] OCDE, 9/11/2001 : Vinyl chloride, 244 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://webnet.oecd.org/hpv/ui/handler.axd?id=c39b3fef-21c9-4d3d-a685-4698e7280ebc>> Consulté le 21/09/2017
- [153] Site de l'INRS : Chlorure de vinyle : Fiche toxicologique n° 184 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_184> Consulté le 21/09/2017
- [154] Site de l'INRS : Trioxyde de chrome : Fiche toxicologique n° 1 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_1> Consulté le 21/09/2017

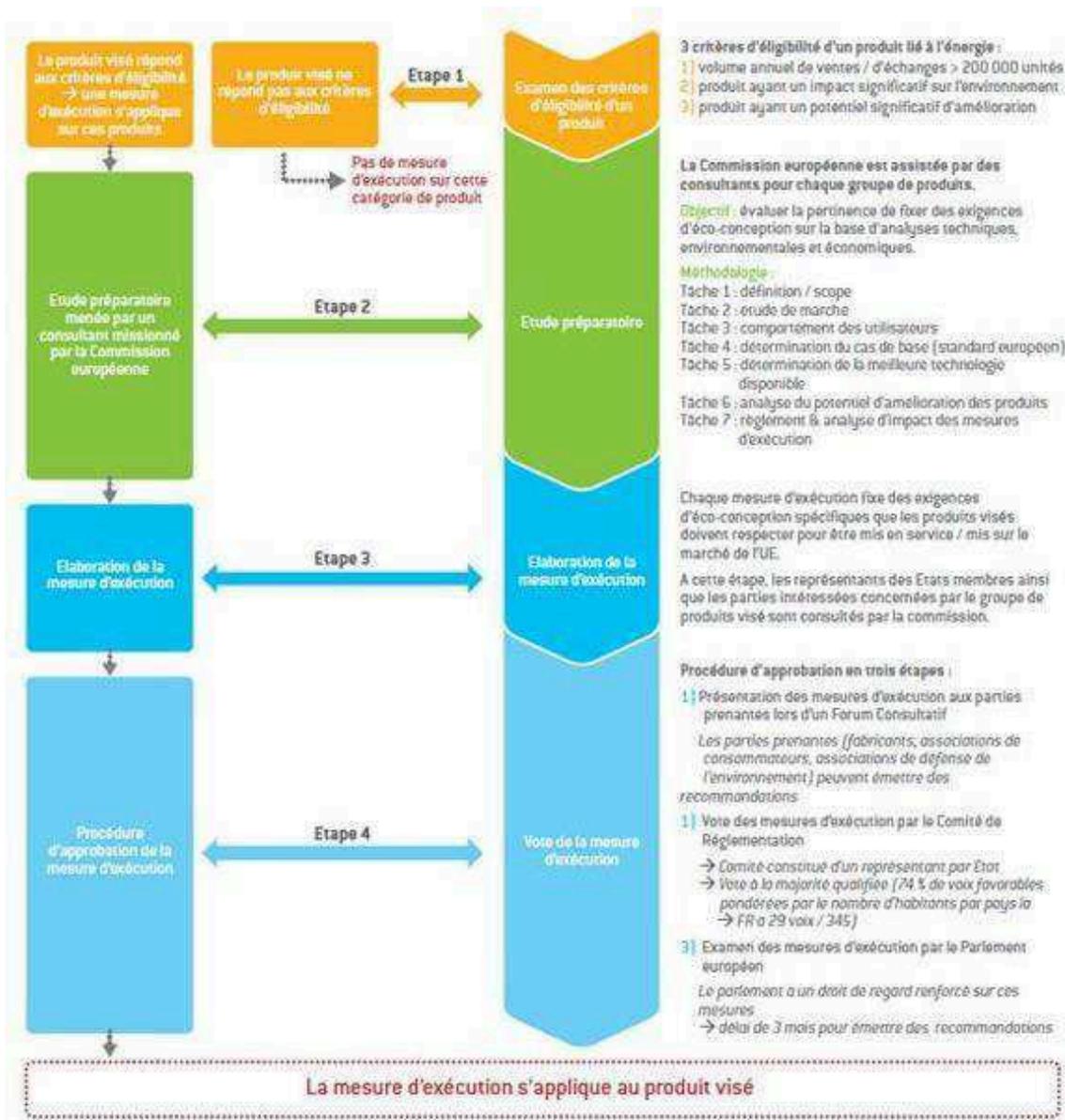
- [155] INERIS, 16/02/2005 : Chrome et ses dérivés, 80 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/2736>> Consulté le 21/09/2017
- [156] Site cancer-environnement : Cobalt et ses dérivés [en ligne] Disponible sur : <<http://www.cancer-environnement.fr/515-Cobalt-et-ses-composes.ce.aspx>> Consulté le 21/09/2017
- [157] INERIS, 29/07/2016 : Plomb et ses dérivés inorganiques, 170 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/9987>> Consulté le 21/09/2017
- [158] Site PVC.org : Calcium - Zinc stabilisers [en ligne] Disponible sur : <<http://www.pvc.org/en/p/calcium-zinc-stabilisers>> Consulté le 21/09/2017
- [159] INERIS, 07/04/2014 : Cadmium et ses dérivés, 111 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiJ2YfDwurVAhXBaRQKHd1tA6wQFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ineris.fr%2Fsubstances%2Ffr%2Fsubstance%2F586&usq=AFQjCNFAAdxKNdSCPN-on8-0okPLVGRA8A>> Consulté le 21/09/2017
- [160] Rapport d'évaluation du risque de l'Union Européenne, 05/2008 : Tris (1-chloro-2-propyl) phosphate, 20 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/8a6e5c7c-15d6-4e80-b083-0cca700c32d3>> Consulté le 21/09/2017
- [161] Rapport d'évaluation du risque de l'Union Européenne, 07/2009 : Tris(2-chloroethyl)phosphate, 213 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/2663989d-1795-44a1-8f50-153a81133258>> Consulté le 21/09/2017
- [162] Rapport d'évaluation du risque de l'Union Européenne, 05/2008 : Tris(1,3-dichloro-2-propyl) Phosphate, 294 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/13630/trd_rar_ireland_tdc_p_en.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [163] Rapport d'évaluation du risque de l'Union Européenne, 2004 : dibutyl phthalate, 165 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/04f79b21-0b6d-4e67-91b9-0a70d4ea7500>> Consulté le 21/09/2017
- [164] USCPSC, 24/10/2010 : Toxicity review of DIBP, 124 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/ToxicityReviewOfDiBP.pdf>> Consulté le 21/09/2017
- [165] ECHA, 07/2010 : Review of new available information for di-'isodecyl' phthalate (DIDP), 20 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/didp_echa_review_report_2010_6_en.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [166] ECHA, 07/05/2012 : Evaluation of new scientific evidence concerning DINP and DIDP in relation to entry 52 of annex XVII to regulation (EC)NO 1907/2006 (REACH), 312 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/echa_review_dinp_and_didp_en.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [167] Etat de Californie (USA), 03/01/2014 : Chemicals known to the state to cause cancer or reproductive toxicity, 23 pages [en ligne] Disponible sur : <https://web.archive.org/web/20140110153001/http://oehha.ca.gov/prop65/prop65_list/files/P65single01032014.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [168] ECHA, 07/2010 : Review of new available information for di-n-octyl phthalate (DNOP), 11 pages [en ligne] Disponible sur : <https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/dnop_echa_review_report_2010_6_en.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [169] Rapport d'évaluation du risque de l'Union Européenne, 05/2008 : Hexabromocyclododecane, 507 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://echa.europa.eu/documents/10162/661bff17-dc0a-4475-9758-40bdd6198f82>> Consulté le 21/09/2017
- [170] Site de l'INRS : Fiche toxicologique numéro 21 : Hydrazine <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_21> Consulté le 21/09/2017
- [171] USEPA, 01/2017 : Toxicological Review of Benzo[a]pyrene, 234 pages [en ligne] Disponible sur : <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0136tr.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [172] SCCS, 22/03/2011 : Opinion on parabens, 36 pages [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_041.pdf> Consulté le 21/09/2017
- [173] ANSES, 09/2015 : Avis de l'Anses Évaluation des risques liés à l'exposition aux retardateurs de flamme dans les meubles rembourrés, 264 pages [en ligne] Disponible sur : <<https://www.anses.fr/fr/system/files/CONSO2011sa0132Ra-02.pdf>> Consulté le 21/09/2017

- [174] WHO, Risk assessment of combined exposures to multiple chemicals, 36 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.who.int/ipcs/methods/harmonization/areas/casestudya.pdf>> Consulté le 21/09/2017
- [175] INERIS, 28/06/2012 : Les polychlorobiphényles - PCB, 89 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/getDocument/3100>> Consulté le 21/09/2017
- [176] Site de l'INRS : Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb. Fabrication de peintures : Fiche d'aide à la substitution de produit cancérigène [en ligne] Disponible sur : <<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=FAS%2026>> Consulté le 21/09/2017
- [177] Cousinet Sylvain, 25/10/2014 : Biobased vinyl levulinate as styrene replacement for unsaturated polyester resins, Polymer chemistry, 8 pages [en ligne] Disponible sur : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pola.27397/full>> Consulté le 21/09/2017
- [178] Environment Canada Health Canada, 11/2008 : Screening Assessment for the Challenge C.I. Pigment Yellow 34, 49 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.ec.gc.ca/ese-ees/A9AB1DAD-9BCD-4CAA-923C-942D35467688/batch2_1344-37-2_en.pdf> Consulté le 21/09/2017"
- [179] Site de l'INRS : Trioxyde de diantimoine : Fiche toxicologique n° 198 [en ligne] Disponible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_198> Consulté le 21/09/2017
- [180] Ye-Tang Pan et De-Yi Wang, 11/03/2015 : One-step hydrothermal synthesis of nano zinc carbonate and its use as a promising substitute for antimony trioxide in flame retardant flexible poly(vinyl chloride), Royal society of chemistry, 7 pages [en ligne] Disponible sur : <https://www.researchgate.net/profile/Yetang_Pan/publication/273472828_One-step_hydrothermal_synthesis_of_nano_zinc_carbonate_and_its_use_as_a_promising_substitute_of_antimony_trioxide_in_flame_retardant_flexible_polyvinyl_chloride/links/56600af808ae1ef929857083.pdf> Consulté le 21/09/2017

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Récapitulatif du cadre pour la fixation d'exigences en matière d'éco-conception des produits liés à l'énergie.	87
Annexe 2 : Objectifs de valorisation des DEEE établis par la réglementation DEEE.....	88
Annexe 3 : Liste des substances chimiques préoccupantes ou réglementées présentes dans les plastiques	84
Annexe 4 : Principales réglementations régulant les substances chimiques présentes dans les plastiques	108
Annexe 5 : Traitement des déchets plastiques en Europe en 2014	109

Annexe 1 : Récapitulatif du cadre pour la fixation d'exigences en matière d'éco-conception des produits liés à l'énergie [XXVIII].



**Annexe 2 : Objectifs de valorisation des DEEE établis par la réglementation DEEE
[XXIX]**

Catégories	Objectifs du 13/08/2012 au 14/08/2015		Objectifs du 15/08/2015 au 14/08/2018		à partir du 15/08/2018	
	Valorisés	Recyclés	Valorisés	Préparés en vue du réemploi et recyclés	Valorisés	Préparés en vue du réemploi et recyclés
Les gros appareils ménagers	80%	75%	85%	80%	85%	80%
Les petits appareils ménagers	70%	50%	75%	55%	80%	70%
Les équipements informatiques et de télécommunication	75%	65%	80%	70%	/	80%
Le matériel grand public	75%	65%	80%	70%	/	/
Le matériel d'éclairage	70%	50%	75%	55%	75%	55%
Les outils électriques et électroniques	70%	50%	75%	55%	75%	55%
Les jouets, équipements de loisir et de sport	70%	50%	75%	55%	/	/
Les dispositifs médicaux	70%	50%	75%	55%	/	/
Les instruments de contrôle et de surveillance, y compris les instruments de contrôle et de surveillance industrielle	70%	50%	75%	55%	/	/
Les distributeurs automatiques	80%	75%	85%	80%	85%	80%

Annexe 3 : Liste des substances chimiques préoccupantes ou réglementées présentes dans les plastiques

Nom (numéro CAS) / Utilisation	Principal type de plastique concerné	Comportement dans l'environnement et chez les organismes vivants	Toxicité aiguë	Toxicité chronique	Classification CLP / CIRC	Réglementations / Seuils	Substituants (numéro CAS)
1,2,3-Trichloropropane (96-18-4) - Copolymère	Tetrafluoroéthylène-Hexafluoropropylène-Copolymer (FEP)	- Accumulation dans les organismes [134]	Inhalation : - Irritation des yeux et de la gorge - Atteintes hépatiques [134]	Contact cutané : - Dermatose - Cancer à différents niveaux [134]	CLP : - Toxicité aiguë, catégorie 4 - Cancérogénicité, catégorie 1B - Toxique pour la reproduction, catégorie 1B CIRC : - Groupe 2A - Probablement cancérogène pour l'Homme	REACH : - Ajout à la liste SVHC le 20/06/2011 - VLEP 8 heures : 61 mg/m ³	Pas de substituant identifié
2,2'-dichloro-4,4'-methylenedianiline (MOCA) (101-14-4) - Agent de polymérisation	Polyuréthane	Peu d'informations	Orale : - Cyanose - Irritation des yeux et de la peau [135]	Ingestion : - Atteintes hépatiques - Adénocarcinomes pulmonaires et hépatocellulaires [135]	CLP : - Toxicité aiguë, catégorie 4 - Cancérogénicité, catégorie 1B - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1 CIRC : - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme	REACH : - Ajout à la liste SVHC le 19/12/2011 - Ajout à la liste d'autorisation le 01/01/2015 - Date d'expiration le 2/11/2017 - VLEP 8 heures : 0,22 mg/m ³	-Amines aromatiques -Amines aliphatiques

<p>2,4-Dinitrotoluene (121-14-2)</p> <p>- Monomère</p>	<p>Polyuréthane</p>	<p>- Dégradation dans l'air et formation de radicaux hydroxyyles - Adsorption dans les solides en suspension et dans les sédiments dans l'eau - Substance non biodégradable - Faible bioaccumulation [136]</p>	<p>Chez l'animal Ingestion : - Cyanose - Atteinte du système nerveux central [136]</p>	<p>Inhalation : - Maux de tête, - Nausée, - Insomnie, - Anémie Ingestion : - Méthémoglobinémie - Paralysie - Convulsions - Atteintes rénales - Atrophie des tubes séminifères (animal) [136]</p>	<p>CLP : - Toxicité aigüe, catégorie 3 : si avalé, inhalé ou en contact avec la peau - Mutagénicité sur cellules germinales, catégorie 2 - Cancérogénicité, catégorie 1B - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1 - Toxique pour la reproduction, catégorie 2 CIRC : - Groupe 2B - Possiblement cancérigène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 13/01/2010 - Date d'expiration le 21/08/2015 Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>Pas d'alternative identifiée [137]</p>
<p>4,4'-Diaminodiphenylmethane (MDA) (101-77-9)</p> <p>- Monomère - Intermédiaire de fabrication du diisocyanate de diphenylméthane (MDI) et de ses polymères</p>	<p>Polyuréthane</p>	<p>- Toxique pour les organismes aquatiques - Entraîne des effets néfastes à long terme [138]</p>	<p>Ingestion : - Jaunisse, - Atteintes rénales et hépatique, - Douleurs abdominales Contact cutané : - Jaunisse - Sensibilisation de la peau [138]</p>	<p>Ingestion : atteinte hépatique Contact cutané : dermatose [138]</p>	<p>CLP : - Cancérogénicité, catégorie 1B - Mutagénicité sur cellules germinales, catégorie 2 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition unique, catégorie 1 - Exposition répétée, catégorie 2 - Sensibilisation cutanée, catégorie 1 - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique, catégorie 2 CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008 - Ajout à la liste d'autorisation le 17/02/2011 - Date d'expiration le 21/08/2014 - USA : PEL (permissible exposure limit) : 0,01 ppm - STEL (short time exposure limit) : 0,10 ppm</p>	<p>Diamines aromatiques : - 3,4'-ODA (3,4'-diaminodiphenylether), (2657-87-6) - Addolink® 1604 (32961-44-7) - Ethacure® 100 (68479-98-1) - Ethacure® 300 (106264-79-3)</p>

<p>4-Nonylphénol (25154-52-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stabilisant - Catalyseur (résines époxy) 	<p>Tous plastiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation dans l'environnement - Bioaccumulation dans les espèces animales [139] 	<p>Contact oculaire : - Irritation oculaire [139]</p>	<p>Diminution de la fertilité Féminisation (animal) Effets adipogènes/obésogènes [139]</p>	<p>CLP : - Classé toxique pour la reproduction (catégorie 2) - Corrosion, catégorie 1B - Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 20/06/2013 - Date d'expiration le 04/01/2021</p> <p>Union Européenne : - Restriction de mise sur le marché par la directive 76/769/CEE (transposée dans le décret n°2005-577) pour des concentrations supérieures à 0,1% en masse</p> <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>Alcools gras éthoxylés [140]</p>
<p>Acide perfluorooctanoïque (PFOA) (335-67-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adjuvant 	<p>Polymères fluorés</p>	<p>Persistants dans l'environnement (non biodégradables)</p>	<p>Chez l'animal Inhalation : - Dilatation broncho-pulmonaire Ingestion : - Irritation du tractus gastro-intestinal Contact cutané : - Irritation de la peau [141]</p>	<p>Chez l'animal Inhalation, ingestion et contact cutané : - Atteintes hépatique [141]</p>	<p>CLP : - Cancérogénicité, catégorie 2 - Toxicité pour la reproduction, catégories 1B - Toxicité pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou via l'allaitement - Toxicité aiguë par inhalation et voie orale, catégorie 4 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles (foie) - Exposition répétée, catégorie 1 - Lésions oculaires graves/irritation oculaire, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Groupe 2B - Possiblement cancérigène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 20/06/2013 - Restriction d'utilisation à partir du 04/07/2020</p> <p>Stockholm : - Substance proposée pour être incluse dans la liste des substances POP</p> <p>- VME : 0,005 mg/m3 (OSHA) - VLE : 0,04 mg/m3 (OSHA) - VBT (Valeur Biologique Tolérable) : 5 mg/L (OSHA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Polytétrafluoroéthylène (9002-84-0) mais implique néanmoins la production involontaire de PFOA sous forme d'impuretés - Précurseurs du PFOA

<p>Acrylamide (79-06-1)</p> <p>- Monomère</p>	<p>Polyacrilamides</p>	<p>Biodégradable, mobile dans l'eau et le sol [142]</p>	<p>Chez l'animal Toutes voies : Atteinte du système nerveux central (tremblements, ataxie) Contact cutané : irritation cutanée Contact oculaire : irritation oculaire [143]</p>	<p>Inhalation : Ingestion : effets neurotoxiques (tremblements, perte de l'usage des membres, perte de l'équilibre) [143]</p>	<p>CLP : - Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 - Toxicité aiguë (par voie cutanée), catégorie 4 - Sensibilisation cutanée, catégorie 1 - Irritation oculaire, catégorie 2 - Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 4 - Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B - Cancérogénicité, catégorie 1B - Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles – Exposition répétée, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Groupe 2A - Probablement cancérogène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste des SVHC le 30/03/2010 - Restriction à partir du 05/11/2012 - VME : 0,03 mg/m³ (OSHA) - Directive 98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,0001 mg/L - Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,0005 mg/L</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>
<p>Arsenic (7440-38-2) et composés</p> <p>- Agent antimicrobien</p>	<p>PVC, polyuréthane, polyéthylène</p>	<p>Comportement variable dans l'eau Faible mobilité dans les sols Certains composés sont volatils Faiblement bioaccumulable [144]</p>	<p>Orale : - hémorragies gastro-intestinales - Nausées - Douleurs abdominales [144]</p>	<p>Orale : - Cirrhose - Arythmies - Atteintes cérébrovasculaires</p> <p>Inhalation : - Cardiopathies - Neuropathies [144]</p>	<p>CLP : - Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC de certains composés - Ajout à la liste d'autorisation de certains composés - Restriction d'utilisation de l'arsenic et de ses composés à partir du 30/12/1989 - Directive eau : 10µg/L</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>

<p>Benzène (71-43-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solvant (Peinture, Vernis...) - Fabrication de résine, de fibres acryliques, de cuir synthétique [12] 	<p>Polystyrène</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se volatilise à partir de l'eau et du sol - Dégradation dans l'air par des radicaux hydroxyles - Faible bioaccumulation dans les organismes vivants [145] 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dépression du système nerveux central - Convulsions - Dépression respiratoire <p>Contact oculaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Irritations cutanées <p>Contact cutané :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Irritation cutanée 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atteinte de la moelle épinière - Leucémie [145] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liquides inflammables, catégorie 2 - Cancérogénicité, catégorie 1A - Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 - Danger par aspiration, catégorie 1 - Lésions oculaires graves/irritation oculaire, catégorie 2 - Corrosion/irritation cutanée, catégorie 2 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste de restriction le 04/09/2015 - VME : 1,6 mg/m³ (NIOSH) - VLEP 8 heures : 3,25 mg/m³ - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,001 mg/L 	<ul style="list-style-type: none"> - Cyclohexane (110-82-7) - Heptane (142-82-5)
<p>Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (117-81-7)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plastifiant 	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Faiblement dégradable - Accumulation dans le sol - Faible accumulation dans les organismes 	<p>Ingestion : troubles gastriques [146]</p>	<p>Ingestion et contact cutané :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la fertilité - Atteintes rénales [146] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2B - Possiblement cancérogène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008 - Ajout à la liste d'autorisation le 17/02/2011 - Date d'expiration le 21/08/2014 - Valeur Biologique de Référence : 200 µg de MEPP urinaire/g de créatinine (ANSES) - MEPP : mono(5-carboxy-2-éthylpentyl) phtalate (métabolite) (ANSES) - VLEP 8 heures (France) : 5 mg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8) - Di(2-propylheptyl) phthalate (53306-54-0)

<p>Bis(2-éthylhexyle) adipate (DEHA) (103-23-1)</p> <p>- Plastifiant</p>	<p>Tous plastiques</p>	<p>Données insuffisantes</p>	<p>Données insuffisantes</p>	<p>Ingestion : - Cancer du foie (animal)</p>	<p>CIRC : - Non classé comme cancérigène pour l'Homme, groupe 3</p>	<p>REACH : - Substance en cours d'évaluation (évaluation par la Finlande en 2018) car : - Possible CMR - Utilisé en grande quantité - Dispersion importante - Utilisée par les consommateurs</p> <p>Pas de seuils définis pour cette substance</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>
<p>Bisphénol A (BPA) (80-05-7)</p> <p>- Monomère</p>	<p>- Polycarbonate - Résines époxy</p>	<p>- Temps de vie très court dans l'atmosphère - Durée de vie de 3 à 5 jours dans les rivières - Adsorption sur les sédiments [147]</p>	<p>Contact oculaire : irritation oculaire (animal) [147]</p>	<p>- Augmentation du nombre de micronoyaux et de dommages à l'ADN (animal) - Activité œstrogène-like Inhalation : - Inflammation de l'épithélium olfactif nasal (animal) - Diminution de la quantité, de la motilité et de la vitalité des spermatozoïdes [148]</p>	<p>CLP : - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition unique, catégorie 3 (Irritation des voies respiratoires) - Lésions oculaires graves, catégorie 1 - Sensibilisation cutanée, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>France : - Interdiction dans les biberons en France en 2010 - Interdit en France depuis 2015</p> <p>Europe : REACH - Ajout à la liste SVHC le 12/01/2017 - Restriction pour le marché du papier thermique à partir du 02/01/2020</p> <p>- VLEP inhalation (8 heures) : 10 mg/m3 (INRS) - DJA : 0,05 mg/kg/j (EFSA)</p>	<p>- Bisphénol S (mais activité perturbateur endocrinien similaire au BPA) [149]</p> <p>- Polyéthylène haute densité</p>
<p>Butyle benzyl phtalate (BBP) (85-68-7)</p> <p>- Plastifiant</p>	<p>Polychlorure de vinyle Polypropylène</p>	<p>- Faiblement biodégradable - Accumulation dans les organismes [150]</p>	<p>Inhalation : - Hémorragies pulmonaires, - Atteinte du système nerveux central [150]</p>	<p>Inhalation : - Baisse de la fertilité, - Effets néfastes pour le développement de l'enfant [150]</p>	<p>CLP : - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B - Très toxique pour les organismes aquatiques, effet aigu et chronique, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Groupe 3 - Non classifié pour sa cancérogénicité pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008 - Ajout à la liste d'autorisation le 17/02/2011 - Date d'expiration le 21/08/2014 - Interdiction d'utilisation dans les jouets et les cosmétiques (Directive 2005/84/EC)</p> <p>- VLEP : 13 mg/m3 (ANSES)</p>	<p>- 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8)</p> <p>- Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)</p>

<p>Chloroalcanes, chaîne courte C10-13 (85535-84-8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agent ignifuge - Plastifiant (peintures) 	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<p>Accumulation dans l'environnement et bioaccumulation dans les espèces animales [151]</p>	<p>Contact cutané : - irritation cutanée Contact oculaire : - irritation oculaire [151]</p>	<p>Inhalation et ingestion : - Atteintes rénales et hépatiques - Cancer hépatique (animal) [151]</p>	<p>CLP : - Cancérogénicité, catégorie 2 - Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu et chronique, catégorie 1 (chlorure et oxyde de cadmium)</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008</p> <p>- Normes de qualité environnementale : 0,4 g/l d'eau douce (Directive 2013/39/UE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Esters phtalate - Esters polyacrylique - Paraffines chlorées à chaîne moyenne et chaîne longue
<p>Chlorure de vinyle (75-01-4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monomère 	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Présent en majorité dans le compartiment air (forte volatilité) - Faible bioaccumulation dans les organismes [152] 	<p>Inhalation : atteintes du SNC, vertiges, céphalées, irritation du tractus bronchique [153]</p>	<p>Inhalation : sommolence, cancer des tissus mous du foie Ingestion : fibrose, cirrhose Contact cutané : sclérose cutanée [153]</p>	<p>CLP : - Gaz inflammables, catégorie 1 - Cancérogénicité, catégorie 1A</p> <p>CIRC : - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme</p>	<p>France - Contrôle du chlorure de vinyle dans l'eau potable (arrêté du 11/01/2017)</p> <p>Europe - Limitation de la mise sur le marché en 1976 (directive 79/831/CEE)</p> <p>REACH - Ajout à la liste de restriction le 22/06/2009 - Utilisation interdite dans les aérosols en tant que gaz propulseur</p> <ul style="list-style-type: none"> - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,0005 mg/L - Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,005 mg/L - VLEP 8 heure (UE) : 7,7 mg/m³ - VLEP 8 heure (UE) : 3 ppm 	<p>Pas de substituant identifié</p>

<p>Chromate de plomb (7758-97-6)</p> <p>- Pigment</p>	<p>Polychlorure de vinyle, Polyéthylène Polypropylène</p>	<p>- Peu solubles dans l'eau salée - Plus ou moins assimilables par les organismes vivants - Forte bioaccumulation dans les organismes</p>	<p>Inhalation : - irritation des muqueuses respiratoires Ingestion : - lésions caustiques du tube digestif, - vomissements, - insuffisance rénale Contact cutané : - brûlures sévères Contact oculaire : - conjonctivite, - lésions oculaire</p>	<p>Inhalation : - Ulcérations de la muqueuse nasale - rhinites - laryngites - cancer des poumons Contact cutané : ulcérations [154]</p>	<p>CLP : - Cancérogénicité, catégorie 1B - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1A - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 2</p> <p>CIRC : - Groupe 2A - Probablement cancérogène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 13/01/2010 - Ajout à la liste d'autorisation le 21/11/2013 - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,01 mg/L - Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,01 mg/L - VLEP inhalation 8 heures : 0,1 mg/m3</p>	<p>-Pigments à base d'oxyde de fer -Vanadate de bismuth (14059-33-7)</p>
<p>Chrome hexavalent (ou trioxyde de chrome ou chrome VI) (1333-82-0)</p> <p>- Pigment</p>	<p>Tous plastiques</p>	<p>- Soluble dans l'eau - Transformé en Chrome trivalent dans les sols - Faible bioaccumulation dans les organismes [154]</p>	<p>Inhalation : - irritation des muqueuses respiratoires Ingestion : - lésions caustiques du tube digestif, - vomissements, - insuffisance rénale Contact cutané : - brûlures sévères Contact oculaire : - conjonctivite, - lésions oculaire [155]</p>	<p>Inhalation : - Ulcérations de la muqueuse nasale - Rhinites - Laryngites - Cancer des poumons Contact cutané : - Ulcérations [155]</p>	<p>CLP : - Matière solide comburante, catégorie 1 - Cancérogénicité, catégorie 1A - Mutagénicité sur cellules germinales, catégorie 1B - Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 - Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 - Toxicité aiguë (par voies cutanée et orale), catégorie 3 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 1 - Corrosion cutanée, catégorie 1A - Sensibilisations respiratoire et cutanée, catégorie 1 - Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1</p> <p>CIRC : - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 15/12/2010 - Ajout à la liste d'autorisation le 21/09/2017 RoHS (2002) : - Limitation de la concentration maximale admissible à 0,1% en poids de matière homogène - VTR : 5,10-6 mg/m3 (ATSDR) - VME : 0,001 mg/m3 en Cr - VLCT : 0,005 mg/m3 en Cr - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,05 mg/L</p>	<p>- Chrome trivalent (16065-83-1)</p>

<p>Cobalt(II) diacétate (71-48-7)</p> <p>- Pigment</p>	<p>Polyéthylène téréphtalate</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation dans les sols et les sédiments - Insoluble dans l'eau - Accumulation pulmonaire 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atteintes respiratoires <p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atteintes neurologiques, hématologiques, hépatiques, rénaux et cardiaques [156] 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fibrose pulmonaire - Tumeurs bronchiolaires, rénales (animal) - Mutation sur cellules de mammifères (animal) - Atteintes des testicules (animal) - Retard de croissance (animal) [156] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensibilisations respiratoire et cutanée, catégorie 1 - Mutagénicité, catégorie 2 - Cancérogénicité, catégorie 1B - Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique et aigu, catégorie 1 - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2B - Possiblement cancérigène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 15/12/2010 - VLEP 8 heures = 0,0025 mg/m3 - VLCT15 minutes = 0,0125 mg/m3 	<p>Pas d'information</p>
---	----------------------------------	--	--	--	---	---	--------------------------

<p>Composés au plomb utilisés comme stabilisants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sulfate de plomb tétrabasique (7446-14-2) - Sulfate de plomb tribasique (12202-17-4) - Phosphite de plomb dibasique (1344-40-7) - Phtalate dibasique de plomb (69011-06-9) - Stéarate de plomb dibasique (56189-09-4) <p>- Stabilisants</p>	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorption sur la matière organique dans l'eau - Accumulation dans les sols dans les premiers centimètres - Accumulation dans les organismes vivants [157] 	<ul style="list-style-type: none"> - Troubles digestifs - Atteinte du tubule rénale - Atteintes hépatiques - Atteintes neurologiques - Perturbation de la synthèse de l'hème [157] 	<ul style="list-style-type: none"> - Saturnisme - Colique saturnine - Encéphalopathies - Atteintes rénales - Anémie [157] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxique pour la reproduction, catégorie 1A - Toxicité aiguë (par inhalation et ingestion), catégorie 4 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 2 - Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2A - Probablement cancérigène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 19/12/2012 - Restrictions pour le sulfate de plomb tribasique utilisé en tant que peinture depuis le 21 décembre 1989 <p>RoHS (2002) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la concentration maximale admissible en Plomb à 0,1% en poids de matière homogène <p>Directive cadre sur l'eau (1998) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la concentration maximale admissible en Plomb à 10 µg/L <p>23/10/2000 : Directive Cadre sur l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,01 mg/L - Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,01 mg/L - Normes de qualité environnementale : 1,2 µg/l d'eau de surface intérieure (arrêté du 27/07/2015) 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilisant calcium/zinc [158]
---	-------------------------------	--	---	--	---	--	--

<p>Composés du cadmium utilisés en tant que stabilisant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chlorure de cadmium (10108-64-2) - Oxyde de cadmium (1306-19-0) - Sulfate de cadmium (10124-36-4) <p>- Stabilisants</p>	<p>Tous plastiques (Chlorure de cadmium et sulfate de cadmium)</p> <p>Polychlorure de vinyle (oxyde de cadmium)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sels de cadmium plus ou moins solubles dans l'eau - Accumulation dans les horizons supérieurs du sol - Accumulation dans les organismes vivants (reins, poumons, os) [159] 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Irritation pulmonaire - Cyanose <p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vomissements - Diarrhées - Œdème pulmonaire [159] 	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance rénale - Troubles respiratoires - Cancers pulmonaires et de la prostate <p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effets cardiovasculaires - Maladies des os <p>Chlorure et oxyde de cadmium :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leucémie (animal) - Effet tératogène [159] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 - Toxicité aiguë (par voie orale), catégorie 3 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 <p>Chlorure et oxyde de cadmium :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cancérogénicité, catégorie 1B - Mutagénicité sur les cellules germinales, (chlorure de cadmium : catégorie 1B, oxyde de cadmium : catégorie 2) - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B - Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu et chronique, catégorie 1 (chlorure et oxyde de cadmium) <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme 	<p>RoHS (2002)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usage limité dans certains produits - Concentration limitée à 0,01 du poids de matériau homogène <p>REACH</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 20/06/2013 <p>Autre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction d'utilisation en tant que stabilisant dans les PVC à partir de mars 2001 - Interdiction d'utilisation dans tous les produits en matière plastique à partir de décembre 2011 - Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,003 mg/L - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,005 mg/L - VTR inhalation chronique pour effets à seuil : 0,45 µg/m³ (ANSES) - VLEP inhalation 8 heures : 3 µg/m³ - VLEP inhalation 15 minutes : 15 µg/m³ 	<p>Stabilisant calcium/zinc [158]</p>
--	---	--	---	---	---	---	---------------------------------------

<p>Composés organophosphorés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tris(2-chloroethyl) phosphate (TCEP) (115-96-8) - Tris (1-chloro-2-propyl) phosphate (TCPP) (13674-84-5) - Tris(1,3-dichloro-2-propyl) Phosphate (TDCP) (13674-87-8) <ul style="list-style-type: none"> - Plastifiant - Retardateur de flamme 	<p>Polyesters</p> <p>Polyuréthane</p> <p>Polyacrylate</p> <p>Polychlorure de vinyle (TCEP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Non volatiles - Non biodégradables - Faibles bioaccumulations dans les organismes 	<p>Faible toxicité par inhalation, ingestion et contact cutané (TCEP, TDCP, TCPP) (animal) [160] [161]</p>	<p>Chez l'animal</p> <p>TCEP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cancers rénaux - Atteinte du système nerveux central <p>TCPP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible toxicité chronique par inhalation, ingestion et contact cutané <p>TDCP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adénomes hépatocellulaires [160] [161] [162] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxique pour la reproduction, catégorie 1A (TCEP) - Toxique pour la reproduction, catégorie 2 (TDCP) <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 3 - Non classifié pour sa cancérogénicité pour l'Homme (TCEP) - Non listé (TCPP, TDCP) 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 13/01/2010 - Ajout à la liste d'autorisation le 21/11/2013 - Date d'expiration le 21/08/2015 <p>Restriction d'utilisation par la "Toy safety directive" depuis le 20 juillet 2013 du TCEP et TDCP. Les substances, quand elles sont présentes dans les jouets, ne doivent pas dépasser la concentration maximale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ou 0,3% de la quantité de plastique (TCEP) - ou 1% de la quantité de plastique (TDCP) <p>Depuis le 21 décembre 2015, les substances, quand elles sont présentes dans les jouets pouvant être mis à la bouche, ne doivent pas dépasser la concentration maximale 5 mg/kg (TCEP, TCPP et TDCP)</p> <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>
---	--	---	--	---	---	---	-------------------------------------

Dibutyl phthalate (DBP) (84-74-2) - Plastifiant	Polychlorure de vinyle	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation dans l'air pour former des radicaux hydroxyyles - Biodégradation permet la formation d'acide phtalique - Bioaccumulation dans les organismes des métabolites [163] 	Inhalation : <ul style="list-style-type: none"> - Irritation des muqueuses respiratoires Ingestion : <ul style="list-style-type: none"> - Troubles digestifs - Atteintes rénales Contact cutané : <ul style="list-style-type: none"> - Irritation Contact oculaire : <ul style="list-style-type: none"> - Conjonctivite [163] 	Inhalation : <ul style="list-style-type: none"> - Neuropathie - Activité anti-androgénique [163] 	CLP : <ul style="list-style-type: none"> - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B - Dangers pour le milieu aquatique – Danger aigu, catégorie 1 CIRC : <ul style="list-style-type: none"> - Non listé 	REACH : <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008 - Ajout à la liste d'autorisation le 17/02/2011 - Date d'expiration le 21/08/2014 - Permissible Exposure Limit (PEL): industrie: 5,0 mg/m3 (OSHA) - VLEP 8 heures (France) : 5 mg/m3 	-1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8) -Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)
Diisobutyl phthalate (DIBP) (84-69-5) - Plastifiant	Polychlorure de vinyle Polypropylène	<ul style="list-style-type: none"> - Très peu soluble dans l'eau [164] 	Chez l'animal <ul style="list-style-type: none"> - Problèmes de coordination - Difficultés respiratoires [164] 	Chez l'animal <ul style="list-style-type: none"> - Atrophie testiculaire - Hypospadias - Malformations de l'épididyme [164] 	CLP : <ul style="list-style-type: none"> - Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B CIRC : <ul style="list-style-type: none"> - Non listé 	REACH : <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste des SVHC le 13/01/2010 - Ajout à la liste d'autorisation le 21/08/2013 - Date d'expiration le 21/02/2015 - Pas de données concernant les seuils de cette substance 	- 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8) - Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)
Diisodécyl phtalate (DIDP) (26761-40-0) - Plastifiant	Polychlorure de vinyle	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation dans les sols et les sédiments - Métabolisation dans les organismes vivants 	Contact oculaire : <ul style="list-style-type: none"> - Faible irritation oculaire (animal) [165] 	Chez l'animal Ingestion : <ul style="list-style-type: none"> - Spongiose hépatique (animal) - Adénome hépatique [166] 	CLP : <ul style="list-style-type: none"> - Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1 CIRC : <ul style="list-style-type: none"> - Non listé USA : <ul style="list-style-type: none"> - Listée en 2014 par l'Etat de Californie comme substance connue pour causer le cancer [167] 	REACH : <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste de restriction le 22 juin 2009 (utilisation interdite à des concentrations supérieures à 0,1% du poids en plastique dans les jouets et les articles destinés à un usage médical pour les enfants susceptibles d'entrer en contact avec la bouche de l'enfant) - Pas de données concernant les seuils de cette substance 	- 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8) - Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)

<p>Diisoheptyle phtalate (DIHP) (71888-89-6)</p> <p>- Plastifiant</p>	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<p>Peu d'information</p>	<p>Peu d'information</p>	<p>Chez l'animal Ingestion : - Diminution du nombre de fœtus par portée - Hypospermie</p>	<p>CLP : - Toxique pour la reproduction, catégorie 1B</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 20/06/2011 - Ajout à la liste d'autorisation le 20/06/2011 - Date d'expiration le 04/07/2020</p> <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>
<p>Diisononyl phtalate (DINP) (28553-12-0)</p> <p>- Plastifiant</p>	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<p>- Accumulation dans les sols et les sédiments - Métabolisation dans les organismes vivants</p>	<p>Chez l'animal Contact oculaire : - Faible irritation oculaire [166]</p>	<p>Chez l'animal Ingestion : - Spongieuse hépatique - Cancer du foie - Cancer hépatique [166]</p>	<p>CLP : - Non listé</p> <p>CIRC : - Non listé</p> <p>USA : - Listée en 2014 par l'Etat de Californie comme substance connue pour causer le cancer [167]</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste de restriction le 22 juin 2009 (utilisation interdite à des concentrations supérieures à 0,1% du poids en plastique dans les jouets et les articles destinés à un usage médical pour les enfants susceptibles d'entrer en contact avec la bouche de l'enfant)</p> <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>- 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8)</p> <p>- Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)</p>
<p>Di-n-octyl phtalate (DNOP) (117-84-0)</p> <p>- Plastifiant</p>	<p>Polychlorure de vinyle</p>	<p>- Accumulation dans les sols et les sédiments - Métabolisation dans les organismes vivants</p>	<p>Pas de toxicité aiguë démontrée</p>	<p>Chez l'animal Ingestion : - Sensibilisation cutanée - Sensibilisation respiratoire [168]</p>	<p>CLP : - Non listé</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste de restriction le 22 juin 2009 (utilisation interdite à des concentrations supérieures à 0,1% du poids en plastique dans les jouets et les articles destinés à un usage médical pour les enfants susceptibles d'entrer en contact avec la bouche de l'enfant)</p> <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<p>- 1,2-Cyclohexane dicarboxylic acid diisononyl ester (166412-78-8)</p> <p>- Di(2-propylheptyl) phtalate (53306-54-0)</p>

<p>Hexabromocyclododecane (HBCDD) (3194-55-6)</p> <p>- Retardateur de flammes</p>	<p>Polystyrène (expansé et extrudé)</p>	<p>- Adsorption sur les sols et les sédiments - Persistent dans l'environnement</p>	<p>Chez l'animal Contact cutané : sensibilisation cutanée [169]</p>	<p>Données insuffisantes chez l'Homme et l'animal</p>	<p>CLP : - Toxicité pour la reproduction, catégorie 2</p> <p>CIRC : - Non listé</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 28/10/2008 - Ajout à la liste d'autorisation le 17/02/2011 - Date d'expiration le 21/08/2014</p> <p>Convention de STOCKHOLM : - Ajout à l'annexe A de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants le 10 mai 2013</p> <p>- Normes de qualité environnementale : 0,0016 µg/l d'eau de surface intérieure (arrêté du 27/07/2015)</p>	<p>- Produits en polyuréthane et en polyisocyanurate</p> <p>- Mousses phénoliques</p>
<p>Hydrazine (302-01-2)</p> <p>- Intermédiaire de fabrication - Retardateur de flammes</p>	<p>Polyuréthane</p>	<p>Peu d'information</p>	<p>Toutes voies d'exposition : - Atteintes hépatiques, rénales, hématologiques - Atteintes du système nerveux central - Irritation cutanée et respiratoire [170]</p>	<p>Toutes voies d'exposition : - Atteintes hépatiques, rénales, hématologiques - Cancer des reins, des poumons, de la thyroïde</p>	<p>CLP : - Matière liquide comburante, catégorie 3 - Irritation des yeux et de la peau, catégorie 2 - Toxicité aiguë (par inhalation et ingestion), catégorie 2 - Sensibilisations cutanée, catégorie 1 - Toxicité aiguë (par inhalation) catégorie 3 - Cancérogénicité, catégorie 1B</p> <p>CIRC : - Groupe 2A - Probablement cancérogène pour l'Homme</p>	<p>REACH : - Ajout à la liste SVHC le 21/06/2011</p> <p>- VLEP inhalation 8 heures : 0,1 mg/m³ (INRS)</p>	<p>Pas de substituant identifié</p>

<p>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :</p> <p>Benzo[a]pyrène (BaP) (50-32-8)</p> <p>Benzo[e]pyrène (BeP) (192-97-2)</p> <p>Benzo[a]anthracène (BaA) (56-55-3) Chrysen (CHR) (218-01-9)</p> <p>Benzo[b]fluoranthène (BbFA) (205-99-2)</p> <p>Benzo[j]fluoranthène (BjFA) (205-82-3)</p> <p>Benzo[k]fluoranthène (BkFA) (207-08-9)</p> <p>Dibenzo[a,h]anthracène (DBAhA) (53-70-3)</p> <p>- Plastifiants paraffiniques et aromatiques</p>	<p>Tous plastiques</p>	<p>- Très peu soluble dans l'eau</p> <p>- Les métabolites du benzo [a] pyrène se fixent sur l'ADN</p> <p>- Est stocké dans les tissus adipeux [171]</p>	<p>Exemple du Benzo [a] pyrène</p> <p>Ingestion :</p> <p>- Cancer du foie et des poumons [171]</p>	<p>Exemple du Benzo [a] pyrène</p> <p>Inhalation et ingestion :</p> <p>- Cancers des voies respiratoires</p> <p>- Cancer du tractus digestif</p> <p>- Effets neurocomportementaux</p> <p>- Baisse de la fertilité [171]</p>	<p>Exemple du Benzo [a] pyrène</p> <p>CLP :</p> <p>- Sensibilisation cutanée, catégorie 1</p> <p>- Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B</p> <p>- Cancérogénicité, catégorie 1B</p> <p>- Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B</p> <p>- Dangers pour le milieu aquatique – Danger aigu et chronique, catégorie 1</p> <p>CIRC :</p> <p>- Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme</p>	<p>REACH :</p> <p>- Ajout à la liste SVHC le 13/01/2010</p> <p>- Ajout à la liste d'autorisation le 21/11/2013</p> <p>- Date d'expiration le 21/05/2015</p> <p>- Restriction d'utilisation depuis le 27 décembre 2015 dans :</p> <p>- Les jouets, ainsi que les articles de puériculture sont limités à 0,5 mg/kg de HAP.</p> <p>- Des produits fournis au public (vêtements, chaussures, équipements de sport...) sont limités à 1 mg/kg</p> <p>- Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,1 µg/L de HAP</p>	<p>-Ethylène / propylène (plastifiants paraffiniques)</p> <p>- Extraits aromatiques raffinés</p>
---	------------------------	---	--	---	--	--	--

<p>Methyl 4-hydroxybenzoate (Méthyl Parabène) (99-76-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conservateur de cosmétiques, médicaments et aliments - Plastifiant des médicaments 	<p>Tous plastiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Degradé par des bactéries - Faible accumulation dans les organismes 	<p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibles réactions allergiques [172] 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la fertilité (activité œstrogène-like, diminution du nombre de spermatozoïdes) [172] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Danger pour l'environnement aquatique, toxicités chronique, catégorie 1 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Non listé 	<p>Règlement N°1223/2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation de l'utilisation des parabènes dans les cosmétiques. <p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substance évaluée en CoRAP en 2014 par la France concernant le caractère perturbateur endocrinien de la substance. De nouveaux tests sont requis pour statuer. - DJA : 10 mg de parabène / kg de poids corporel / jour (OMS) 	<p>Pas de substituant identifié</p>
<p>Polybromobiphényles (PBB) (67774-32-7)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retardateurs de flamme 	<p>Polyuréthane</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation dans les tissus adipeux 	<ul style="list-style-type: none"> - Irritation de la peau et des muqueuses 	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte du système nerveux central - Puberté précoce - Cancer du foie - Perturbation de la fonction hormonale [173] 	<p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2A - Probablement cancérigène pour l'Homme 	<p>Directive 76/769/CEE (1984) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction dans les textiles destinés à entrer en contact avec la peau <p>RoHS (2002) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la concentration maximale admissible en PBB à 0,1% en poids de matière homogène <p>Pas de données concernant les seuils de cette substance</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tétrabromobenzate (TBBE) - Esters alkylphosphoriques chlorés (tri(2-chloroisopropyl) phosphate (TCPP) (13674-84-5) [173]

<p>Polybromodiphényl ether (PBDE) :</p> <p>Pentabromodiphényléther (32534-81-9)</p> <p>Octabromodiphényléther (32536-52-0)</p> <p>Décabromodiphényléther (1163-19-5)</p> <p>- Retardateur de flammes</p>	<p>Tous plastiques</p>	<p>- Accumulation dans l'environnement et bioaccumulation dans les espèces animales</p> <p>- Peu soluble dans l'eau</p> <p>- volatils</p> <p>- Dégradation lente en des métabolites eux-mêmes bioaccumulables (penta- et hexa-BDE)</p>	<p>Chez l'animal :</p> <p>- Hyperplasie thyroïdienne</p> <p>- Atteintes hépatiques [174]</p>	<p>Chez l'animal</p> <p>- Diminution du taux d'hormones thyroïdiennes</p> <p>- Altération du développement moteur</p> <p>- Atteintes hépatiques [174]</p>	<p>CLP :</p> <p>- Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 2</p> <p>- Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1</p> <p>CIRC :</p> <p>- Groupe 3 - Non classifié pour sa cancérogénicité pour l'Homme (Deca-BDE)</p>	<p>REACH :</p> <p>- Ajout à la liste SVHC le 19/12/2012</p> <p>- Interdiction de mise sur le marché à partir du 2 mai 2019</p> <p>RoHS (2002) :</p> <p>- Limitation de la concentration maximale admissible en PBDE à 0,1% en poids de matière homogène</p> <p>Convention de Stockholm :</p> <p>- Le Deca BDE pourrait être ajouté prochainement à la liste de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants</p> <p>- Concentration moyenne sans effet spécifique : 10 mg/m3 (INRS, 2004)</p>	<p>- Tétrabromobenzate (TBBE)</p> <p>- Esters alkylphosphoriques chlorés (tri(2-chloroisopropyl) phosphate (TCPP) (13674-84-5) [174]</p>
---	------------------------	--	--	---	---	---	--

<p>Polychlorobiphényles (PCB) (1336-36-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plastifiant - Retardateur de flamme 	<p>PVC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilité dépendante du degré de chloration - Peu solubles dans l'eau - PCB fortement chlorés non biodégradables - Forte bioaccumulation dans les graisses 	<p>Contact cutané :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chloéacnée - Hyper sécrétion lacrymale <p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - troubles hépatiques [175] 	<p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effets obésogènes - Effets neurocomportementaux - Perturbation métabolique et endocrinienne - Cancer du sein [175] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toxicité spécifique pour certains organes cibles – Exposition répétée, catégorie 2 - Dangers pour le milieu aquatique – Danger aigu et chronique, catégorie 1 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 1 - Cancérogène pour l'Homme 	<p>France :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le décret n°87-59 du 2 février 1987 interdit la vente, l'acquisition ou la mise sur le marché des appareils contenant des PCB ou des produits refermant plus de 0,005 % en poids (transformateurs et condensateurs). <p>Convention de STOCKHOLM :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à l'annexe A de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants le 17 mai 2004 - DJA : 3 ng/m3 (OMS) - VLEP inhalation 8 heures : 1 mg/m3 (42% chlore) et 0,5 mg/m3 (54% chlore) - NQE pour les eaux de surface intérieures : 0,001 µg/L 	<p>Diocyl phtalate (117-81-7)</p>
<p>Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (12656-85-8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pigment 	<p>Tous plastiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorption sur la matière organique dans l'eau - Accumulation dans les sols dans les premiers centimètres [155] 	<p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Troubles digestifs - Atteinte du tubule rénale - Atteintes hépatiques - Atteintes neurologiques - Perturbation de la synthèse de l'hème [155] 	<p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cancers des poumons, de l'estomac et des reins [155] 	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cancérogénicité, catégorie 1B - Toxique pour la reproduction, catégorie 1A - Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 2 - Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2A - Probablement cancérogène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajout à la liste SVHC le 13/01/2010 - Ajout à la liste d'autorisation le 21/11/2013 - Date d'expiration le 21/05/2015 <p>RoHS (2002) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation de la concentration maximale admissible en plomb à 0,1% en poids de matière homogène 	<ul style="list-style-type: none"> - Oxydes de fer - Vanadate de Bismuth (14059-33-7) [176]

<p>Styrène (100-42-5)</p> <p>- Polymère</p>	<p>Polystyrène</p> <p>Polyesters insaturés</p>	<p>- Absorption dans les sédiments</p> <p>- Mobile dans le sol</p> <p>- Volatile</p> <p>- Facilement biodégradable dans l'eau, l'air et le sol [177]</p>	<p>Inhalation :</p> <p>- Atteinte du système nerveux central (nausées, céphalées)</p> <p>Ingestion :</p> <p>- Irritation des voies respiratoires</p> <p>Contact cutané :</p> <p>- Effet irritant [177]</p>	<p>Inhalation :</p> <p>- Irritation des voies respiratoires</p> <p>- Asthme</p> <p>- Atteintes du SNC</p> <p>- Troubles de la vision [177]</p>	<p>CLP :</p> <p>- Liquides inflammables, catégorie 3</p> <p>- Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 4</p> <p>- Irritation oculaire et cutanée, catégorie 2</p> <p>- Toxicité pour la reproduction, catégorie 2</p> <p>- Toxicité spécifique pour certains organes cibles (appareil auditif) – Exposition répétée, catégorie 1</p> <p>CIRC :</p> <p>- Groupe 2B - Possiblement cancérigène pour l'Homme</p>	<p>Pas de réglementation autre que les seuils déterminés pour cette substance</p> <p>- Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,02 mg/L</p> <p>- VLEP inhalation 8 heures indicative : 100 mg/m3</p> <p>- VLEP inhalation 15 minutes indicative : 200 mg/m3</p> <p>La VLEP indicative deviendra contraignante le 1er janvier 2019</p>	<p>- Levulinate de vinyle [177]</p>
<p>Sulfochromate de plomb jaune (1344-37-2)</p> <p>- Pigment</p>	<p>Tous plastiques</p>	<p>- Adsorption sur la matière organique dans l'eau</p> <p>- Accumulation dans les sols dans les premiers centimètres</p> <p>- Accumulation dans les organismes vivants</p>	<p>Pas de toxicité aiguë démontrée</p>	<p>Ingestion :</p> <p>- Cancers des poumons</p> <p>- Cancers rénaux (animal) [178]</p>	<p>CLP :</p> <p>- Toxique pour la reproduction, catégorie 1A</p> <p>- Toxicité aiguë (par inhalation et ingestion), catégorie 4</p> <p>- Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 2</p> <p>- Danger pour l'environnement aquatique, toxicités aiguë et chronique, catégorie 1</p> <p>CIRC :</p> <p>- Groupe 2A - Probablement cancérigène pour l'Homme</p>	<p>RoHS (2002) :</p> <p>- Limitation de la concentration maximale admissible en plomb à 0,1% en poids de matière homogène</p> <p>- Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,01 mg/L</p> <p>- Lignes directrices pour la qualité de l'eau (OMS) : 0,01 mg/L</p> <p>- Normes de qualité environnementale : 1,2 µg/l d'eau de surface intérieure (arrêté du 27/07/2015)</p>	<p>- Oxydes de fer</p> <p>- Vanadate de Bismuth (14059-33-7) [176]</p>

<p>Trioxyde d'antimoine (1309-64-4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Catalyseur de polymérisation (PET) - Retardateur de flammes (PVC) 	<p>Polytéréphtalate d'éthylène</p> <p>Polychlorure de vinyle</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bioaccumulation chez les invertébrés mais faible bioconcentration le long de la chaîne trophique <p>[179]</p>	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Irritation des voies respiratoires - Irritation des muqueuse oculaire et digestive <p>Ingestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Troubles du rythme cardiaque <p>[179]</p>	<p>Inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atteinte des voies aériennes supérieures (rhinites, ulcération de la cloison nasale) - Fibrose pulmonaire - Cancer des poumons <p>Contact cutané :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eruptions nécrotiques au niveau des glandes sudoripares et sébacées <p>[179]</p>	<p>CLP :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cancérogénicité, catégorie 2 <p>CIRC :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Groupe 2B - Possiblement cancérigène pour l'Homme 	<p>REACH :</p> <p>Substance évaluée en CoRAP avant 2018 par l'Allemagne concernant le caractère cancérigène de la substance.</p> <ul style="list-style-type: none"> - VME : 0,5 mg/m³ () - VTR inhalation chronique : 6 µg/kg (OMS) - Directive n°98/83/CE pour la qualité de l'eau de consommation : 0,005 mg/L d'antimoine 	<ul style="list-style-type: none"> - Nano zinc carbonaté (retardateur de flammes) <p>[180]</p>
---	--	---	--	---	---	---	---

Annexe 4 : Principales réglementations régulant les substances chimiques présentes dans les plastiques

Nom de la substance (numéro CAS)	Réglementation DEEE	REACH			Directive 98/83/CE sur l'eau	Convention de Stockholm
		Liste SVHC	Liste d'autorisation	Liste de restriction		
1,2,3-Trichloropropane (96-18-4)		x				
2,2'-dichloro-4,4'-methylenedianiline (MOCA) (101-14-4)		x	x			
2,4-Dinitrotoluene (121-14-2)		x	x			
4,4'- Diaminodiphenylmethane (MDA) (101-77-9)		x	x			
4-Nonylphénol (25154-52-3)		x	x			
Acide perfluorooctanoïque (PFOA) (335-67-1)		x	x	x		
Acrylamide (79-06-1)		x	x	x	x	
Arsenic (7440-38-2) et composés		x	x	x	x	
Benzène (71-43-2)				x	x	
Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) (117-81-7)		x	x			
Bis(2-éthylhexyle) adipate (DEHA) (103-23-1)		Substance en cours d'évaluation				
Bisphénol A (BPA) (80-05-7)		x	x	x		
Butyle benzyl phtalate (BBP) (85-68-7)		x	x			
Chloroalcane, chaîne courte C10-13 (85535-84-8)		x				
Chlorure de vinyle (75-01-4)				x	x	
Chromate de plomb (7758-97-6)		x	x		x	
Chrome hexavalent (ou trioxyde de chrome ou chrome VI) (1333-82-0)	x	x	x		x	
Cobalt(II) diacétate (71-48-7)		x				
Composés au plomb utilisés comme stabilisants : - Sulfate de plomb tétrabasique (7446-14-2) - Sulfate de plomb tribasique (12202-17-4) - Phosphite de plomb dibasique (1344-40-7) - Phtalate dibasique de plomb (69011-06-9) - Stearate de plomb dibasique (56189-09-4)	x	x		x	x	
Composés du cadmium utilisés en tant que stabilisant : - Chlorure de cadmium (10108-64-2) - Oxyde de cadmium(1306-19-0) - Sulfate de cadmium (10124-36-4)	x	x			x	
Composés organophosphorés : - Tris(2-chloroethyl)phosphate (TCEP) (115-96-8) - Tris (1-chloro-2-propyl) phosphate (TCPP) (13674-84-5) - Tris(1,3-dichloro-2-propyl) Phosphate (TDCP) (13674-87-8)		x	x			
Dibutyl phthalate (DBP) (84-74-2)		x	x			
Diisobutyl phthalate (DIBP) (84-69-5)		x	x			

Nom de la substance (numéro CAS)	Réglementation DEEE	REACH			Directive 98/83/CE sur l'eau	Convention de Stockholm
		Liste SVHC	Liste d'autorisation	Liste de restriction		
Diisodécyl phtalate (DIDP) (26761-40-0)				x		
Diisoheptyle phtalate (DIHP) (71888-89-6)				x		
Diisononyl phtalate(DINP) (28553-12-0)				x		
Di-n-octyl phthalate (DNOP) (117-84-0)				x		
Hexabromocyclododecane (HBCDD) (3194-55-6)		x	x			x
Hydrazine (302-01-2)		x				
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : - Benzo[a]pyrene (BaP) (50-32-8) - Benzo[e]pyrene (BeP) (192-97-2) - Benzo[a]anthracene (BaA) (56-55-3) Chrysen (CHR) (218-01-9) Benzo[b]fluoranthene (BbFA) (205-99-2) - Benzo[j]fluoranthene (BjFA) (205-82-3) - Benzo[k]fluoranthene (BkFA) (207-08-9) - Dibenzo[a,h]anthracene (DBAha) (53-70-3)		x	x		x	
Methyl 4-hydroxybenzoate (Méthyl Parabène) (99-76-3)		Substance évaluée en 2014, de nouveaux tests sont nécessaires				
Polybromobiphényles (PBB) (67774-32-7)	x					x
Polybromodiphényl ether (PBDE) : -Pentabromodiphényléther (32534-81-9) - Octabromodiphényléther (32536-52-0) - Décabromodiphényléther (1163-19-5)	x	x				x
Polychlorobiphényles (PCB) (1336-36-3)						x
Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (12656-85-8)		x	x		x	
Styrène (100-42-5)						
Sulfochromate de plomb jaune (1344-37-2)					x	
Trioxyde d'antimoine (1309-64-4)					x	

Annexe 5 : Traitement des déchets plastiques en Europe en 2014 [XVIII]



ETAT DES LIEUX DES REGLEMENTATIONS PRODUITS, SUBSTANCES ET DECHETS ET ETUDE DE LEURS IMPACTS SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE ET LE RECYCLAGE DES MATIERES PLASTIQUES

Résumé : Le **recyclage** des matières **plastiques** est une voie essentielle dans la transition vers une économie circulaire. L'Union européenne incite au recyclage de ces matières via la mise en place de diverses **réglementations**. Celles-ci se heurtent cependant aux réglementations substances telles que REACH qui limitent la présence de substances dangereuses dans les produits. Les **déchets** plastiques peuvent contenir des **substances chimiques réglementées héritées du passé** telles que des phtalates, des retardateurs de flammes bromés et des métaux lourds en quantité trop élevée. Leur recyclage est donc interdit et les déchets qui en contiennent doivent subir un traitement spécifique pour limiter les risques pour la santé humaine et l'environnement. Les professionnels de la plasturgie et du recyclage sont confrontés à des contraintes à la fois réglementaires, techniques et économiques qui rendent complexe le respect des réglementations. Des pistes permettant de gérer ces contraintes existent cependant.

Mots clés : recyclage, plastique, réglementation, substances chimiques réglementées héritées du passé, déchets

REVIEW OF THE PRODUCTS, WASTES AND SUBSTANCES REGULATIONS AND STUDY OF THEIR CONSEQUENCES ON THE CIRCULAR ECONOMY AND PLASTICS RECYCLE DEVELOPMENT

Abstract : **Plastic recycle** is an essential way for the transition to a circular economy. European Union encourages plastic recycling through various **regulations**. However, they are confronted to regulations such as REACH which limit the presence of hazardous substances in products. Plastics waste may contain **regulated chemicals inherited from the past** such as phthalates, brominated flame retardants and heavy metals in excessive amounts. Their recycling is prohibited and the **waste** containing them must undergo specific treatment to limit the risks for human health and the environment. Plastics and recycling professionals face regulatory, technical and economic constraints that complicate compliance with regulations. However, some reflexion paths to manage these constraints can be list.

Keywords : recycle, plastic, regulation, regulated chemicals inherited from the past, waste

ETAT DES LIEUX DES REGLEMENTATIONS PRODUITS, SUBSTANCES ET DECHETS ET ETUDE DE LEURS IMPACTS SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE ET LE RECYCLAGE DES MATIERES PLASTIQUES

Présenté par Kévin Ménard

Composition du jury :

Président de jury : Franck-Olivier DENAYER - Maitre de Conférences en Toxicologie de l'Environnement et Ecotoxicologie

2ème membre de jury : Arnaud PARENTY - Maitre de Conférences et chargé de missions « économie circulaire »

3ème membre de jury : Florence DE MENGIN FONDRAGON - Responsable achat, traitement et R&D Valdelia

Master 2 Parcours Evaluation et Gestion des Risques Sanitaires Environnementaux
et Professionnels



2016-2017

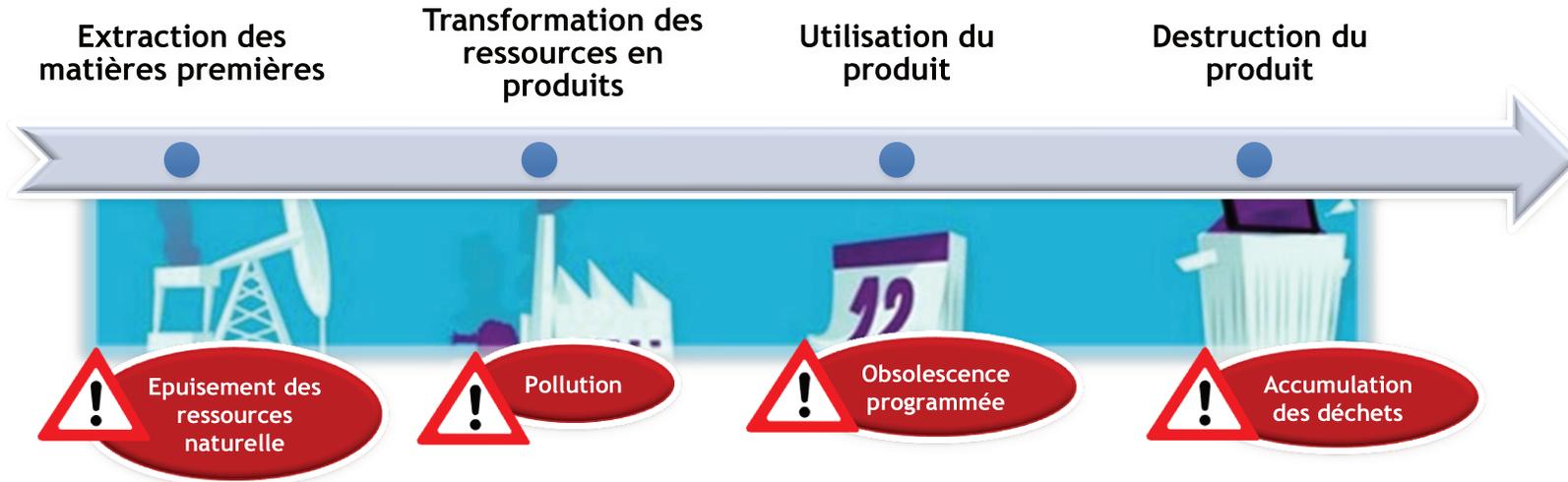
Plan

- ▶ Introduction
- ▶ Limites réglementaires et pistes
- ▶ Limites techniques et pistes
- ▶ Limites économiques et pistes
- ▶ Conclusion

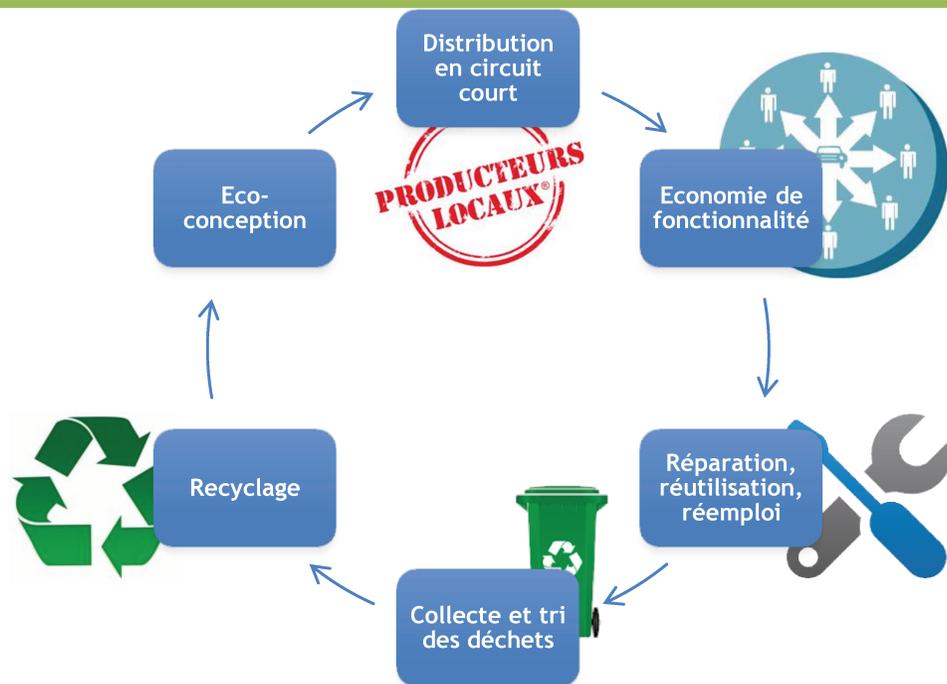
Introduction

L'économie circulaire

Economie linéaire



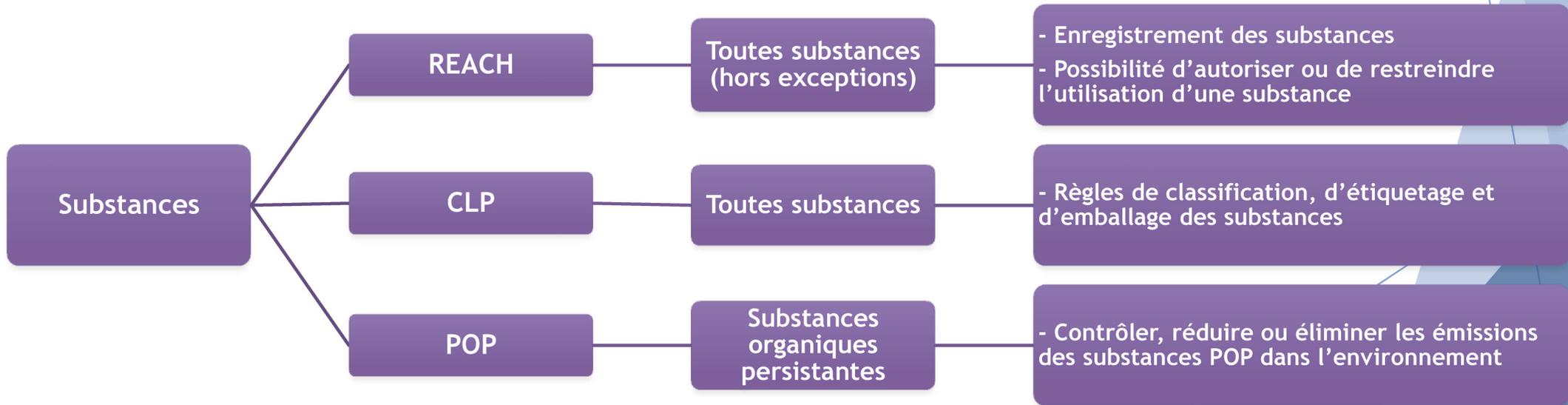
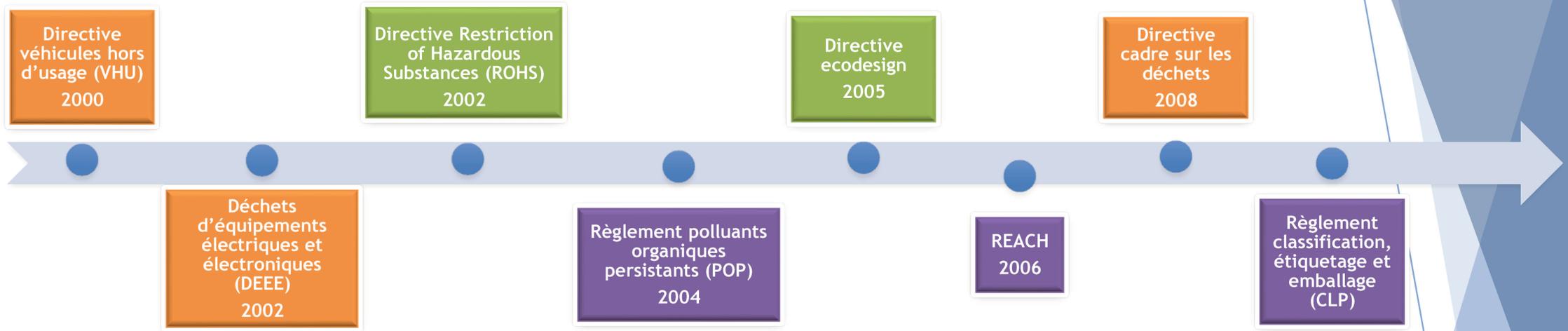
Economie circulaire



Volonté de l'Union européenne de favoriser l'économie circulaire !

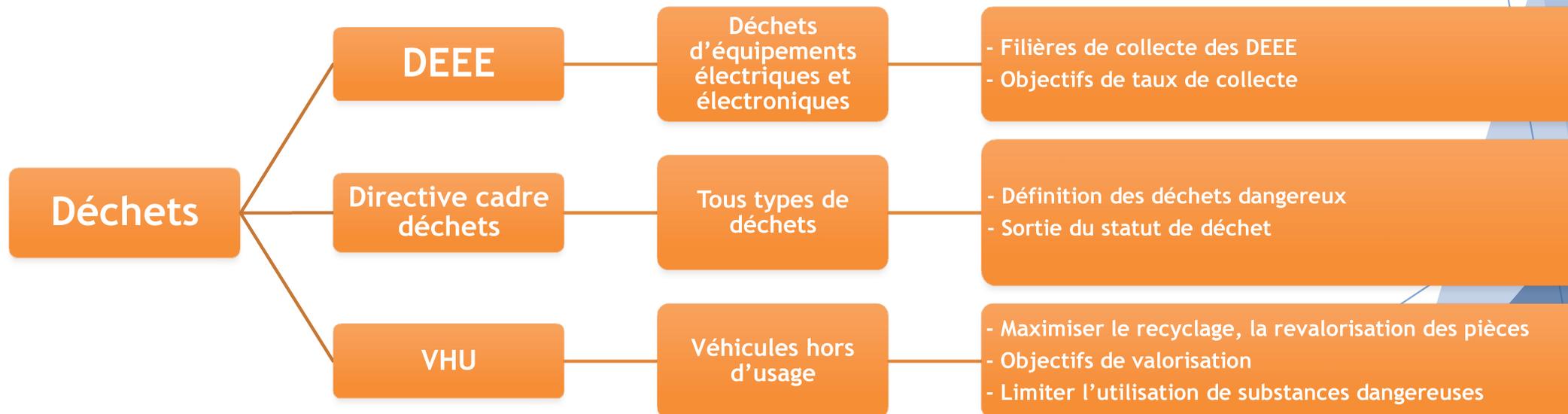
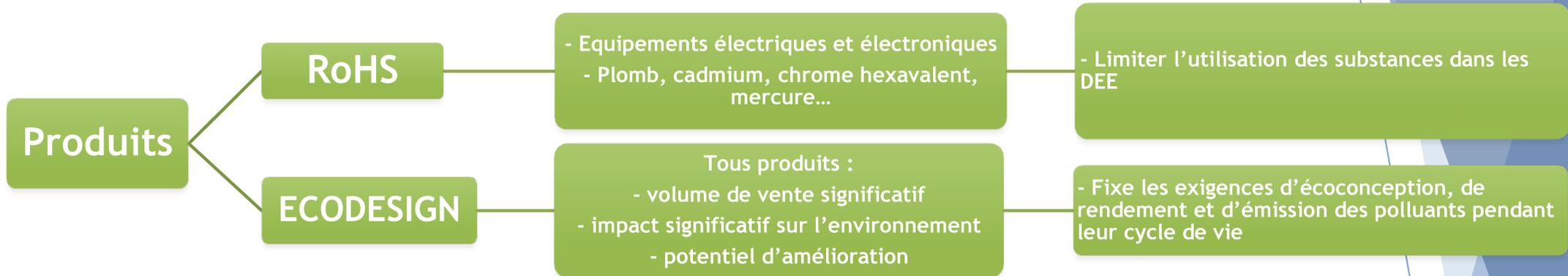
Introduction

Contexte réglementaire



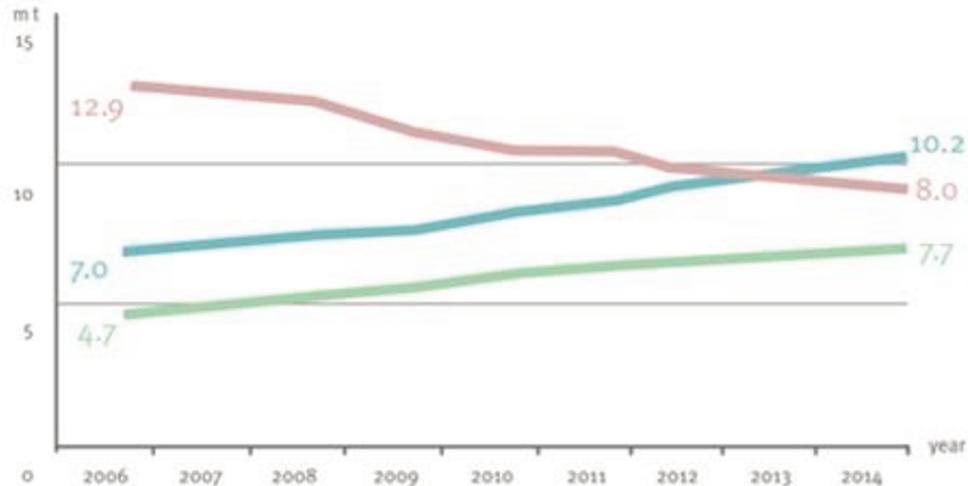
Introduction

Contexte réglementaire



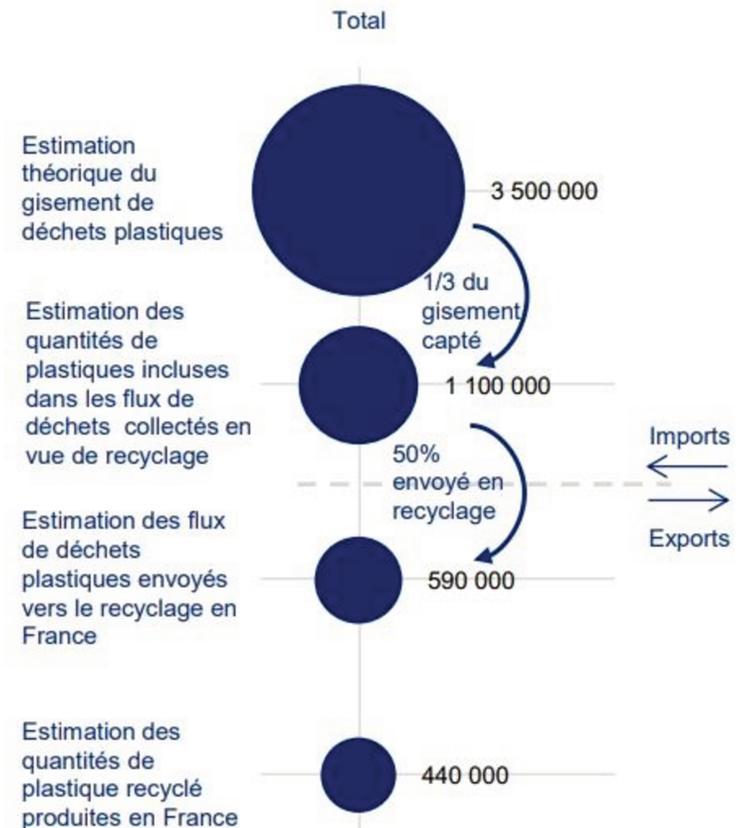
Introduction

Gestion actuelle des déchets plastiques



- Incinération (40% en 2014)
- Enfouissement (31% en 2014)
- Recyclage (29% en 2014)

Évolution des quantités de déchets plastiques de 2006 à 2014 en Europe en fonction de leur devenir



Flux de déchets plastiques en France en 2012

Problématique :

A quelles difficultés sont exposées les entreprises du secteur de la revalorisation des déchets plastiques et de la plasturgie lors de la gestion des plastiques contenant des substances préoccupantes pour la santé humaine et l'environnement et réglementées ?

Limites réglementaires

Incohérences de la réglementation

Directive cadre sur les déchets

- ▶ Recycler des déchets dangereux réglementé
- ▶ Interdiction de mélanger les déchets dangereux avec d'autres catégories de déchets dangereux, des déchets non dangereux, des substances ou des matières.
- ▶ Interdiction de diluer des substances dangereuses

Règlement POP

Possibilité de recycler des plastiques contenant des substances dangereuses : l'hexaBDE et l'heptaBDE

↳ Recyclage possible si $[c]$ mesurée $<$ $[c]$ limite

-Exemptions en contradiction avec l'interdiction de recycler des matières dangereuses et l'interdiction de diluer des substances dangereuses

Limites réglementaires

Objectifs de recyclage

- ▶ Objectifs de valorisation fixés par les différentes réglementations
- ▶ Montrer la volonté de l'Union européenne

Catégories	Objectifs de 2012 à 2015	Objectifs de 2015 à 2018
Type de valorisation	Recyclés	Recyclés
Les gros appareils ménagers	75%	80%
Les équipements informatiques et de télécommunication	65%	70%
Les outils électriques et électroniques	50%	55%
Les instruments de contrôle et de surveillance, y compris les instruments de contrôle et de surveillance industrielle	50%	55%



Objectifs de valorisation des DEEE établis par la réglementation DEEE

Plastiques contenant des substances dangereuses pourraient dans le futur être interdits de recyclage



Diminution du volume de plastique recyclable



Objectifs de recyclage atteignables ?

Limites réglementaires - Piste

Favoriser l'économie circulaire via la réglementation

- ▶ Adapter les concentrations limites en fonction de l'origine des plastiques

Exemple du cadmium

Concentration limite résine vierge	Concentration limite plastique recyclé
0,01%	0,1%

Exemple du pentabromodiphényléther (PBDE)

Concentration limite résine vierge	Concentration limite plastique recyclé
0,001%	0,1%

- ▶ Permet de faciliter le recyclage des plastiques
- ▶ Question du niveau de protection pour la santé humaine et l'environnement dans l'économie circulaire

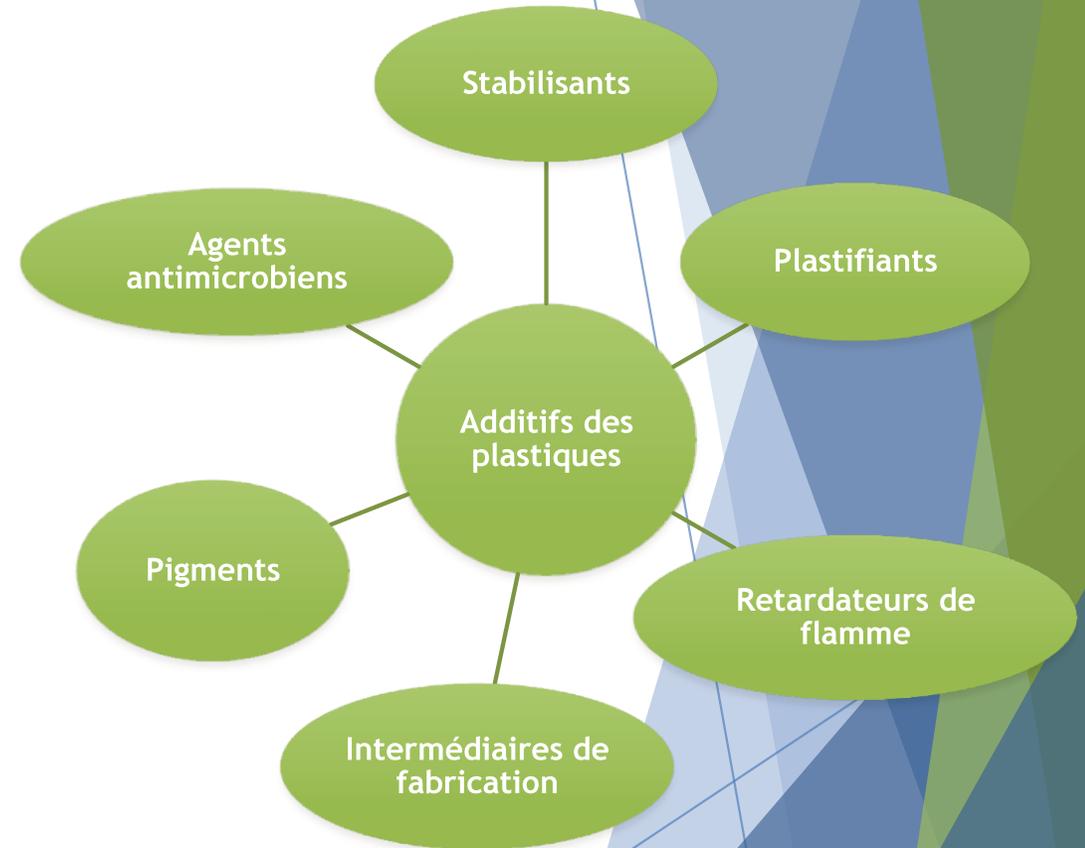
Limites techniques

La composition des plastiques

- ▶ Présence de nombreux additifs dans les plastiques
- ▶ Additifs potentiellement dangereux qui ne peuvent être recyclés
- ▶ Techniquement et économiquement très compliqué de connaître la composition complète des plastiques.

Des méthodes d'identification existent mais sont relativement lentes et coûteuses pour les industriels

↳ Inadaptées



Limites techniques

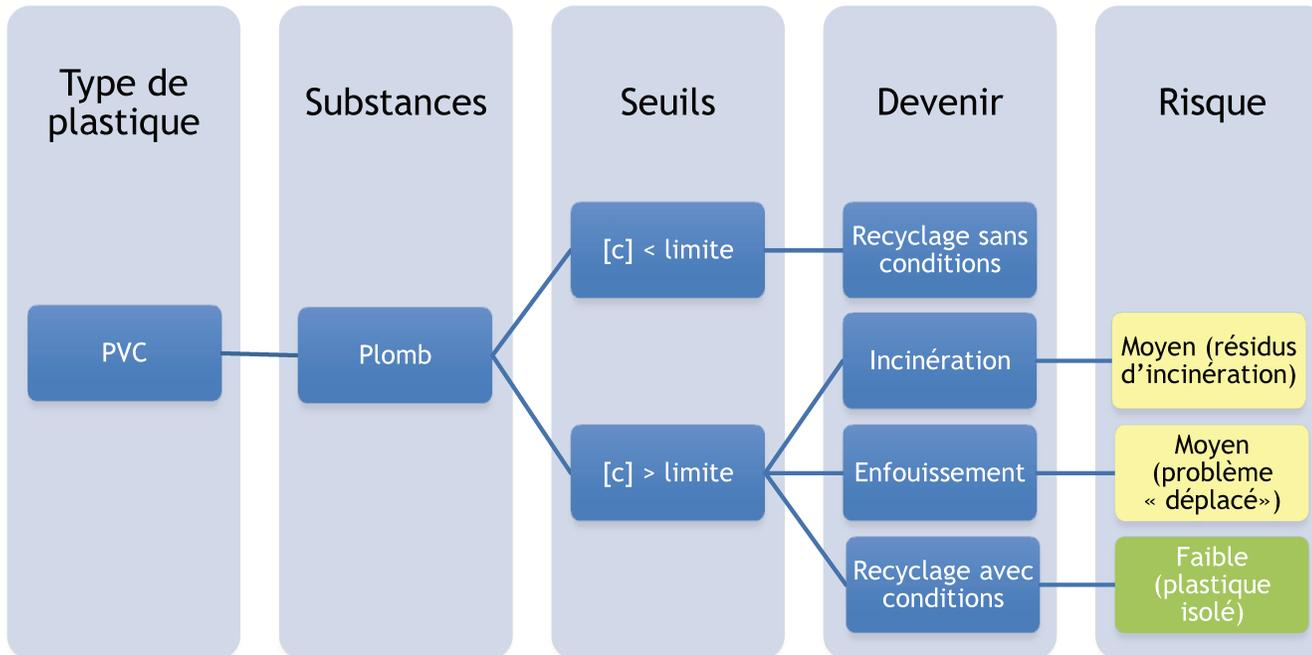
Différents modes de traitement

	RECYCLAGE	INCINERATION	MISE EN DECHARGE
			
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none">- Economie d'énergie et de ressource- Participe au développement de l'économie circulaire	<ul style="list-style-type: none">- Réduction du volume de déchets- Revalorisation énergétique et revalorisation matière	<ul style="list-style-type: none">- Peu coûteuse- Valorisation énergétique (méthanisation)
INCONVENIENTS	<ul style="list-style-type: none">- La purification des plastiques- Emission de dioxines et furanes lors du recyclage (exposition professionnelle)	<ul style="list-style-type: none">- Emission de dioxine, furanes, métaux lourds en quantités importantes- Emission de substances non contrôlées	<ul style="list-style-type: none">- Faible dégradation des plastiques (déchets « inutiles »)- Risques de pollution de l'environnement

Limites techniques - Pistes

Étudier des substances au cas par cas par les parties prenantes

- ▶ Risque pour la santé humaine et l'environnement ?
- ▶ Comportement lors de l'incinération ? Substances secondaires toxiques ?
- ▶ Présence dans les lixiviats ou dans les gaz émis ?
- ▶ Possibilité d'intégrer la substance dans une matrice imperméable ?

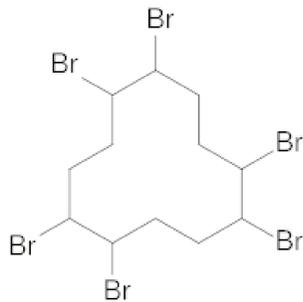


Limites techniques - Pistes

Améliorer les techniques de purification des plastiques

Gestion des déchets : risques dans les années à venir

- ▶ Cas de l'Hexabromocyclododécane (HBCDD), retardateur de flamme du polystyrène
- ▶ Présent dans les maisons et les immeubles
- ▶ Risque de relargage de la substance lors de la rénovation ou la démolition
- ▶ Techniques de recyclage permettant d'extraire l'HBCDD du polystyrène actuellement à l'étude
- ▶ Nécessité de maintenir un effort de recherche



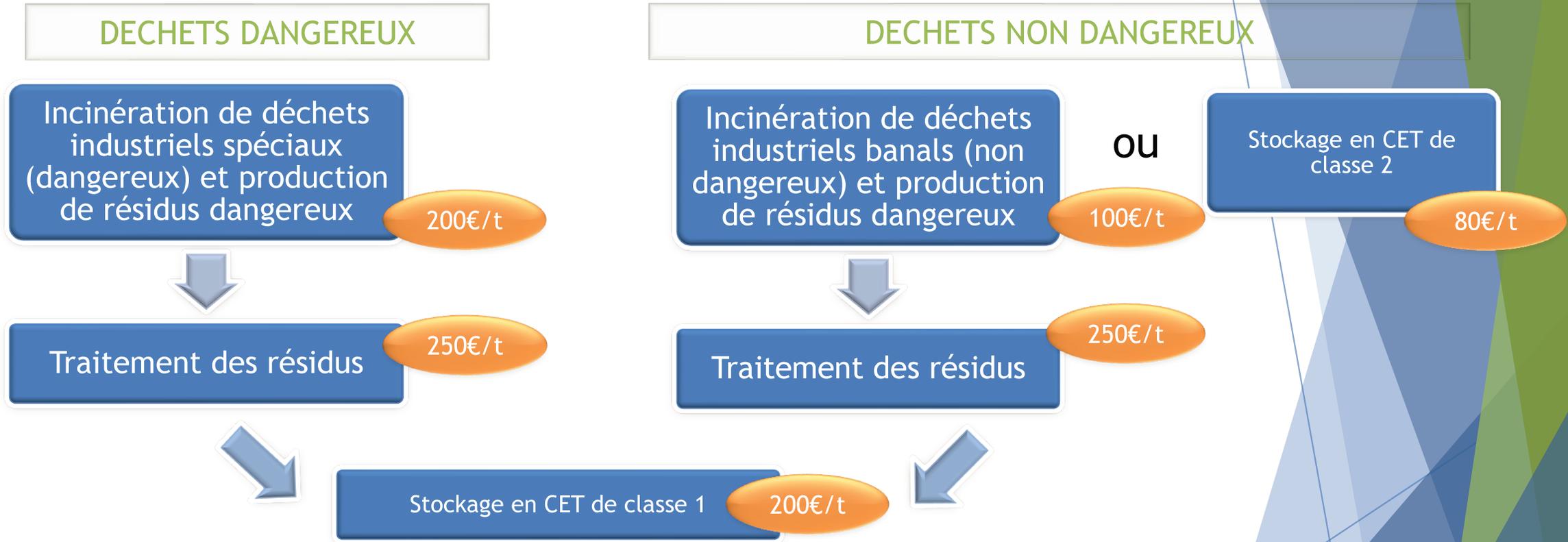
Formule de l'hexabromocyclododécane



Isolation au polystyrène

Limites économiques

Coûts de gestion des déchets dangereux



Transport

Reclassement des déchets en déchets dangereux

→ Diminution du nombre de lieux d'incinération et de stockage compatibles

→ Augmentation des coûts de transport

Limites économiques

Dérives de la gestion des déchets

Les décharges sauvages

- ▶ Lieux de stockage intempestifs dans des environnements non dédiés au stockage des déchets
- ▶ Conséquences environnementales

Exportation illégale de déchets

- ▶ 25% des déchets exportés illégalement (Parlement européen)
- ▶ Fréquences des contrôles variables fonction des Etats (pas de modalités précises)

Exemple des DEEE

Exportation de déchets en les faisant passer pour des dons humanitaires

- ↳ Exportés comme biens de seconde main : pas de dépollution, pas d'autorisation
- ↳ Pays d'Afrique en majorité (Nigéria) -> Réglementation très souple
- ↳ Risques pour la santé et l'environnement



Décharge sauvage située en France



Conteneurs interceptés en direction du Nigeria



Décharge sauvage située au Nigeria

Limites économiques - Pistes

Développer et fortifier le secteur du recyclage

- ▶ 30% des déchets plastiques recyclés en Europe
- ▶ Marge de progression très importante.
- ▶ Faciliter le recyclage via une amélioration des techniques de recyclage et de purification.

Juillet 2017 : interdiction d'importation des déchets plastiques par la Chine

- ▶ Quantités importantes de déchets plastiques

Risque d'engorgement des usines / diminution du prix de vente de plastique

└─▶ Risque de saturation du marché

Opportunité pour l'Union européenne de soutenir l'industrie du plastique

- └─▶ Fixer un minimum d'utilisation des matières recyclées
- └─▶ Désengorgement des usines

Conclusion

Limites :

- ▶ Incohérences de la réglementation
- ▶ Gestion difficile des plastiques contenant des substances dangereuses
- ▶ Coûts élevés de la gestion des déchets et risques de dérives

Pistes :

- ▶ Améliorer les techniques de recyclage et de purification
- ▶ Etudier les substances et les plastiques au cas par cas pour définir le mode de traitement privilégié

Renforcer les contrôles pour les produits plastiques importés



Merci
de
votre
attention