

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

**RECYCLAGE DES EMBALLAGES PLASTIQUES AYANT
CONTENU DES PRODUITS DANGEREUX. CONDITIONS
TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES – ÉTAT DES
CONNAISSANCES SUR LES RISQUES SANITAIRES**

***RECYCLABILITY OF PLASTIC PACKAGING CONTAINING
HAZARDOUS SUBSTANCES. TECHNICAL AND REGULATORY
SITUATIONS - KNOWLEDGE AVAILABLE ON SANITARY RISKS***

octobre 2016

J. LHOTELLIER – RDC ENVIRONNEMENT

C. HENNEUSE – CERTECH

V. NEDELLEC – VNC Santé-Environnement



VNC VINCENT NEDELLEC CONSULTANTS

SANTE - ENVIRONNEMENT

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Recyclage des emballages plastiques ayant contenu des produits dangereux. Conditions techniques et réglementaires – Etat des connaissances sur les risques sanitaires, 2016, 154 p, n°15-0154/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2016

RESUME

Dans un contexte européen où l'économie circulaire est encouragée, notamment avec une série de mesures prises par la commission européenne en décembre 2015 dans le cadre du « paquet économie circulaire », de nombreuses pratiques visant au recyclage de tout type de matériaux devraient voir le jour. Dans une perspective de conserver un bon niveau de protection de l'environnement et de la santé, cette étude cherche à décrire les conditions permettant le recyclage des emballages plastiques vides ayant contenu des produits dangereux.

En pratique, les objectifs consistent en : comprendre la situation réglementaire, technique, et sanitaire du recyclage des emballages dits « souillés ».

Il s'agit tout d'abord de comprendre dans quel cadre réglementaire ce type d'opération est réalisé en Europe. De nombreuses réglementations sont applicables en fonction du statut de la matière à recycler : réglementation générale sur les déchets dangereux ou non, réglementation sur les produits dangereux contenus dans les emballages à recycler, réglementation sur les opérations de lavage des emballages souillés et réglementation sur la matière régénérée.

Les techniques de lavage des emballages en vue de leur décontamination diffèrent peu les unes par rapport aux autres. Ces techniques consistent en un pré-rinçage, un broyage, un lavage à l'eau (chaude) avec ajout de réactifs (souvent un tensio-actif) et un séchage. L'aspect le plus différenciant entre ces procédés réside dans l'étape de tri préalable, qui sélectionne les emballages en fonction des substances et mélanges ayant été contenus. Il a également été identifié un procédé, au stade de recherche et développement, visant une décontamination au CO₂ supercritique à l'étape d'extrusion du plastique à recycler.

Afin d'avoir une meilleure vision sur l'efficacité des techniques de lavage des emballages ayant contenu des substances dangereuses et de faire le lien avec les risques sanitaires du recyclage de ces emballages, l'étude s'attache à comprendre les phénomènes de migration des molécules au travers d'une matrice polymère. Cette migration dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la nature du polymère, sa masse moléculaire, la présence de plastifiant, la température et la densité de pontage dans la matrice. Les interactions contenant/contenu étant fortement dépendantes de la nature des emballages et des substances chimiques en contact, une analyse au cas par cas s'avère indispensable à la compréhension des phénomènes de migration. L'analyse de la bibliographie montre que ce sujet est très peu étudié.

Les connaissances disponibles sur les risques associés au recyclage des emballages ayant contenu des substances dangereuses sont faibles et ne permettent pas de formuler un avis pertinent. Le champ d'intérêt est certainement trop novateur pour avoir fait l'objet d'études scientifiques, il est aussi probable qu'aucun terrain d'investigation ne soit disponible. Il est donc recommandé d'engager les travaux d'études et de recherche permettant d'établir des seuils de concentrations à ne pas dépasser pour les substances dangereuses potentiellement présentes dans les plastiques candidats au recyclage.

MOTS CLES

Recyclage, rinçage, lavage, décontamination, migration, déchet dangereux, emballage plastique.

SUMMARY

In a European context, the circular economy is more and more encourage and especially through some action taken by the European commission with the Circular Economy Package adopted in December 2015, many practices should emerge to recycle all kind of materials. In a perspective to conserve a good environment level and health protection, this study describes the conditions allowing the recyclability of packaging which has contained hazardous substances.

In practice, the purpose is to understand the regulatory situation, the technicity and sanitary of contaminating packaging.

This paper aims to describe conditions allowing recyclability of plastic packaging, which has content hazardous substance. It is necessary that the all those operations ensure the conservation of the environment and good sanitary conditions.

First, we need to understand the regulation in Europe of this process. Many regulations are applicable to recycling materials like the general regulation on hazardous and non-hazardous waste, the regulation on hazardous product contained into recycled packaging, regulation on washing operation for contaminated packaging and regulation on the regenerated matter.

The different washing techniques are more and less the same, with a pre-wash, the shredding, the washing with hot water and addition of chemical reagent, the process ends with the drying. The differentiation between all processes depends mainly on the sorting phase, which selects the packaging according to the substance they have content. There is one process identified, on R&D phase, using supercritical CO₂ during the plastic extrusion process.

In order to better understand the efficiency of washing technics on packaging, which has content hazardous substance and to link it with sanitary risks; the study aimed at understanding the migration phenomenon through polymeric matrix.

The migration of molecules through a polymeric matrix depends on many factors such as the nature of the polymer, its molar mass, the temperature and the presence of plasticizers. The interaction between the content and container are strongly influenced by the nature of the packaging and the chemical content, but a case-by-case analysis is necessary for the full understanding of the migration phenomenon. The bibliographic analysis shows that the topic was only few time studied.

The knowledge available on sanitary risks related to the recycled packaging, which gas content hazardous substances are rare and do not allow formulating a relevant advice.

The research field is probably too innovative to have been the topic of scientific research. But it is also possible that there is not possibility to investigate on it. We recommend studying the threshold concentration of hazardous substances to not exceed in potentially recycled plastic.

KEY WORDS

Recycling, rinsing, washing, decontamination, migration, hazardous waste, hazardous substances, plastic packaging

Contexte

Dans un contexte où l'économie circulaire est de plus en plus favorisée, notamment par l'union européenne à travers le « paquet économie circulaire » adopté en décembre 2015, cette étude cherche à décrire les conditions permettant le recyclage des emballages vides ayant contenu des produits dangereux. En effet, il est essentiel que ces opérations soient réalisées en garantissant un bon niveau de préservation de l'environnement et des conditions sanitaires.

Les objectifs de l'étude consistent en comprendre la situation réglementaire, à identifier les techniques de lavage visant la décontamination, à déterminer l'état des connaissances en matière de migration des substances dangereuses dans la matrice polymère et en matière de risques sanitaires liés à ce type de recyclage. Afin d'envisager une augmentation du recyclage de ce type d'emballage, cet état des lieux doit permettre d'identifier si les risques sanitaires et les limites de cette pratique sont bien identifiés et suffisamment maîtrisés.

Analyse du contexte réglementaire associé au recyclage de déchets d'emballages plastiques ayant été en contact avec des substances dangereuses

L'étude de la réglementation a montré que de nombreuses réglementations sont applicables en fonction du statut de la matière à recyclée : réglementations sur les déchets dangereux, sur les déchets non dangereux et réglementations sur les produits (ou matériaux) sont applicables selon le statut des emballages recyclés.

Les deux grandes directives encadrant les déchets d'emballages dangereux sont :

- La directive **94/62/CE** - *relative aux emballages et aux déchets d'emballages* qui fixe les exigences essentielles auxquelles doivent satisfaire les emballages mis sur le marché. Cette directive vise, notamment, à éviter la formation de déchets d'emballages, incite à la mise en place de systèmes de réutilisation et introduit des objectifs de recyclage pour, entre autres, les emballages plastiques.
- La directive cadre **2008/98/CE** – *relative aux déchets* qui établit le cadre juridique pour le traitement de déchets dans la Communauté. Elle définit, notamment, les déchets dangereux comme déchets qui présentent une ou plusieurs des propriétés dangereuses énumérées à l'annexe III (propriétés HP 1 à HP 15).

De plus, le **règlement (UE) n° 1342/2014** de la Commission du 17/12/14 modifiant les annexes IV et V du règlement (CE) n° 850/2004 du Parlement européen et du Conseil concernant les polluants organiques persistants (POP) édicte des règles relatives aux déchets qui sont constitués, qui contiennent ou qui sont contaminés par les polluants organiques persistants.

Lorsque des déchets contiennent des POP, ils doivent être détruits et ne peuvent donc pas être recyclés. Un recyclage de déchets ayant contenu des POP est cependant envisageable si une opération de traitement, visant à supprimer ces substances, est réalisée. C'est le cas aujourd'hui des parties métalliques des transformateurs au PCB.

Les installations de lavage/décontamination et de recyclage de déchets sont soumises à un régime de surveillance particulière par les autorités publiques. Ce cadre est fixé, au niveau européen par la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED. Elle réunit en un seul texte, sept directives préexistantes distinctes relatives aux émissions

Context

In a European context, the circular economy is more and more encouraged and especially with the Circular Economy Package adopted in December 2015. This paper aims to describe conditions allowing recyclability of plastic packaging, which has contained hazardous substance. It is necessary that all those operations ensure the conservation of the environment and good sanitary conditions.

It is important to understand the regulatory situation, identify techniques for decontamination, determine the state of knowledge of migration of hazardous substances into the polymer matrix and sanitary risks too. To consider an increase of the recyclability of plastic packaging, which has contained hazardous substance, this state of the art should permit to identify if the sanitary risks and limits of the recyclability are enough to identify and mastered.

Analysis of the regulatory context links to recycling the plastic packaging wastes which have been in contact with hazardous substances

The two main European directives framing the hazardous packaging waste are:

- *Directive 94/62/CE fixing the measure on the management of packaging waste. It sets the rules on the production, marketing, use, recycling and refilling of containers of liquids in order to avoid the waste production, encourage reuse, and fix clear objectives in terms of recycling.*
- *Directive 2008/98/CE sets the basic concepts and definitions related to waste management and defines hazardous waste as a waste with one or several properties listed in annex III.*

Moreover, Commission Regulation (EU) No 1342/2014 of 17 December 2014 Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants as regards Annexes IV and V set the rules for the waste composed, containing or contaminated by or persistent organic pollutants.

When wastes are containing POP, they have to be destroyed and consequently cannot be recycled.

Nowadays, for metallic part of the PCB transformation, it is possible to consider the recycling of wastes which have contained POP if they are treated in order to remove the pollutant.

The washing/decontamination and recycling facilities are subject to a formal prudential supervisory regime by the local authorities. The European directive 2010/75/UE is the main regulating pollutant emissions from industrial installations, also called IED directive. It is based on a Commission proposal recasting 7 previously existing directives. The IPPC directive integrates the pollution prevention and control.

It should be recognized that the washing practices of hazardous packaging are not more regulated than the non-hazardous waste at the European or national level. But practices are more framed by the local authorities through operating licenses or environmental permit.

Specific applications for plastic are regulated and do not depend on the plastic origins. The regulation is not directly applied to the packaging or to the process but has to be

industrielles. Les dispositions correspondant à la directive 2008/1/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, dite directive IPPC.

Force est de constater que les pratiques de lavage en vue d'une décontamination des emballages dangereux ne sont pas plus réglementées que celles de matériaux non dangereux au niveau des textes européens ou nationaux. Cependant, ces pratiques sont fortement encadrées par les autorités locales compétentes via les arrêtés d'exploitation ou permis d'environnement.

Certaines applications pour les plastiques¹ sont réglementées et ne dépendent pas de l'origine du plastique (vierge ou recyclé). La réglementation ne s'applique pas directement à l'emballage ou au procédé de recyclage mais doit être pris en considération lors de l'utilisation de la matière plastique recyclée (plastiques recyclés pouvant être issus des emballages). Les recycleurs doivent donc être vigilants sur l'origine des emballages à recycler.

Des dispositions particulières sont prises dans plusieurs pays d'Europe concernant les emballages vides de produits phytosanitaires. Sous le contrôle de l'éco-organisme en charge de ce type de déchets, certains pays acceptent de les considérer comme non dangereux s'ils sont rincés correctement par les utilisateurs de ces produits. Dans ce cas, l'éco-organisme est responsable de l'efficacité d'un tel dispositif.

Qualification et quantification des gisements

Deux grands gisements d'emballages peuvent être distingués : les emballages issus des ménages et assimilés et les emballages industriels et commerciaux.

En France, les emballages ménagers non dangereux font l'objet d'objectifs de collecte sélective et de valorisation depuis de nombreuses années au travers de la mise en place de la filière de responsabilité élargie du producteur (REP) en 1992 financée par Eco-Emballage et Adelphe. Depuis 2013, la collecte et le traitement des emballages dangereux des ménages (nommés Déchets Diffus Spécifiques) sont financés par la filière REP EcoDDS.

Jusqu'à il y a peu, les emballages industriels et commerciaux n'ont pas été visés par des politiques publiques de recyclage aussi fortes que les emballages ménagers. Le paquet économie circulaire de la Commission européenne, adopté en 2015, change la donne puisque celle-ci a fixé comme objectif de recycler 75% des déchets d'emballages d'ici 2030. La nature et les gisements devraient donc être de mieux en mieux connus à l'avenir.

Les produits phytopharmaceutiques sont issus essentiellement de domaine agricole et destinés à la protection des cultures (herbicides, fongicides, insecticides, régulateurs de croissance,...). Ils font l'objet d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Les emballages collectés sont les bidons en plastique (PEhd en majorité), les fûts en plastique ou en métal de 25 à 300 litres, les boîtes carton et les sacs papier. 80% des emballages vides de produits phytopharmaceutiques (EVPP) sont collectés en 2013 avec une performance plus élevée pour les bidons plastiques (84%) que pour les boîtes et sacs (35%).

En 2015, A.D.I.VALOR, une filière volontaire de responsabilité élargie du producteur, a pour objectif de collecter 75% des

taken into consideration for the use of recycled plastic. The recycler has to be vigilant about the origin of the packaging to recycle.

Specifics arrangement have been taking by several European countries concerning empty packaging which has served for pesticides products.

Under the control of the eco-organism in charge of this type of waste, some countries consider those waste as non-hazardous if they have been clean by the users. In that case, the responsibilities are taken through the extended responsibility of producers.

Qualification and quantification of soiled packaging waste **OF SOILED**

Packaging wastes are distinguished in two categories according if they are coming from household and the other coming from industrial and commercial sectors.

In France, non-hazardous households packaging are subject to specific collection and treatments, for many years through the extended producer's responsibility implemented in 1992 and financed by Eco-Emballage and Adelphe. Since 2013, the waste collection and treatment of the hazardous packaging are financed by EcoDDS and extended producer's responsibility branch.

The industrial and commercial packaging have been targeting by the politics, through the circular economy packaging adopted by the European Commission in 2015 and set a common objective to recycle 75% of packaging waste by the year 2030.

More data should be available in the future.

Pesticide products are mainly used in the agricultural sector to protect crops. They are submitted to marketing authorization. The different packaging collected are plastic containers (mainly HDPE), 25 to 300 liters metallic or plastic barrel, cardboard box and paper bag. 80% of the empty packaging were collected in 2013, with a higher rate for the plastic containers.

In 2015, A.D.I.VALOR, an extended producer responsibility branch has for objective to collect 75% of all the empty packaging which have been used as a container for pesticide products and recycle 55% of it. Those objectives have been set in consultation with the public authorities and partners. In 2013, 59 000 tons of plastic waste have been collected and 93% recycled.

There is no data available for industrial and commercial plastic packaging. To compensate the lack of data two methods have been used to estimate the quantity that has contained hazardous substances.

The first method estimates the quantity of product containing hazardous substances marketed, based on the theory that the packaging is incinerated with the substances they contain into a hazardous incinerator. According to the input data of the SYPRED facilities, this method results to 92 000 tons of plastic packaging from industrials.

The second method estimates the quantity of soiled empty plastic containers from waste streams generated by controlled facilities through the French register of pollutant emissions (IREP). This method results to an estimation between 112 000 and 164 000 tons of soiled packaging waste.

¹ Notamment les plastiques en contact avec des denrées alimentaires et les plastiques de jouets.

EVPP avec un taux de recyclage de 55%. Ceux-ci sont fixés en concertation avec les pouvoirs publics et les partenaires de la filière. En 2013, 59 000 tonnes d'emballages et plastiques usagés ont été collectés et 93% ont été recyclés.

Il n'existe pas de comptabilité pour les emballages plastiques rigides industriels et commerciaux. Pour pallier le manque de statistiques, deux méthodes d'estimations sont proposées. L'objectif étant d'estimer le gisement d'emballages plastique ayant contenu des substances dangereuses.

La première méthode estime le gisement d'emballages mis sur le marché et qui contiennent des substances ou mélanges dangereux. Elle se base sur le postulat que les emballages sont le plus souvent incinérés dans les incinérateurs de déchets dangereux avec les substances qu'ils contiennent (sans étape de déconditionnement). Sur base des données du SYPRED, cette méthode donne un gisement de 92 000 tonnes d'emballages plastiques industriels.

La deuxième méthode s'attache à estimer le gisement d'emballages plastiques vides souillés à partir des tonnages de déchets générés par les installations recensées via le registre français des émissions polluantes (IREP). Cette méthode estime le gisement entre 112 000 à 164 000 tonnes.

D'autre part, l'étude a permis d'identifier, avec une forte incertitude, un tonnage approximatif de 22 000 tonnes d'emballages décontaminés en France.

Les déchets diffus spécifiques (DDS) sont des déchets issus de produits chimiques pouvant présenter un risque significatif pour la santé et l'environnement en raison de leurs caractéristiques physico-chimiques (la liste est définie par un arrêté ministériel). EcoDDS est l'éco-organisme agréé par les pouvoirs publics depuis avril 2013 pour prendre en charge l'obligation réglementaire des metteurs sur le marché de mettre en place et de financer la reprise de ces produits mis sur le marché une fois arrivés en fin de vie. En 2014, EcoDDS a collecté 26 655 tonnes de DDS dont 2160 tonnes de DDS vidés (emballages vides souillés). Notons que l'éco-organisme ne couvre pas l'entièreté des produits dangereux des ménages et que le gisement d'emballages contenant encore des produits dangereux n'est pas considéré dans le calcul. Les DDS vidés ne sont pas recyclés.

État de l'art des procédés de rinçage, de lavage et de décontamination

Afin d'effectuer l'état de l'art des procédés de rinçage, de lavage et de décontamination les canaux d'informations suivants utilisés ont été :

- la bibliographie,
- l'identification des dispositifs de gestion des déchets à travers une autre étude menée par RDC Environment,
- une enquête auprès des entreprises réalisant (ou fortement impliquées) du lavage d'emballages vides souillés dans le but de les décontaminer,
- et la consultation des fédérations ou organismes regroupant les professionnels du secteur tel qu'Elipso, FNADE, FEDEREC et Valorplast.

Il faut distinguer le rinçage des emballages vides souillés qui est réalisé par le détenteur du déchet et les opérations visant à supprimer toute substance nocive ou toxique présente dans l'emballage (substances transférées dans la matrice par adsorption et par absorption).

Le schéma suivant présente la chaîne de valeur du recyclage des emballages plastiques de manière simplifiée. Les opérations de rinçage et de lavage en vue de la décontamination y sont positionnées.

In another hand, the study had identified, with a strong uncertainty, 22 000 tons of soiled packaging that have been washed in order to decontaminate them in France.

The household hazardous wastes are chemical products that may have an impact on human health or the environment due to their physical and chemical properties. EcoDDS certified by the public authorities since 2013 is in charge to administer the obligation of marketers to set up and to support financially the end of life of the product. In 2014, EcoDDS has collected 26 665 tons of household hazardous wastes in which 2 160 tons empty. Note that the eco-organism does not cover the entire household hazardous wastes and they are not taking in the account for the calculation. The household hazardous wastes are not recycled.

State of art of the rinsing, the washing and the decontamination process

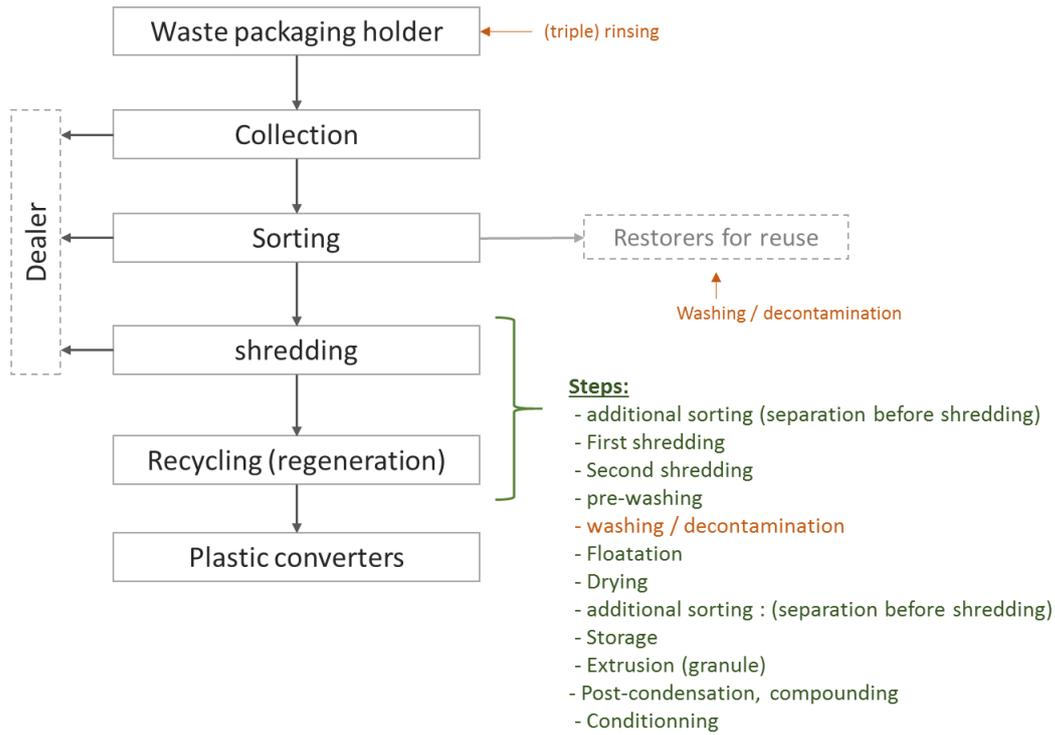
In order to establish the state of art of the rinsing and washing processes we used:

- *bibliography analysis;*
- *a study from RDC environment to identify management of hazardous household waste in some countries around the world;*
- *a survey of several companies washing empty soiled packaging in order to decontaminate it;*
- *the consultation of federation or organisms gathering professionals in such sectors such as Elipso, FNADE, FEDEREC and Valorplast.*

One step is the rinsing of soiled empty packaging did by owner in order to avoid the presence of any harmful substances in the packaging. (Substances are transferred in the matrix by adsorption or absorption).

The following chart present the value chain simplified of recycling plastic packaging, including the rinsing and the washing in to decontaminate the packaging.

The value chain of recycling plastic packaging, including the rinsing and the washing in order to decontaminate packaging



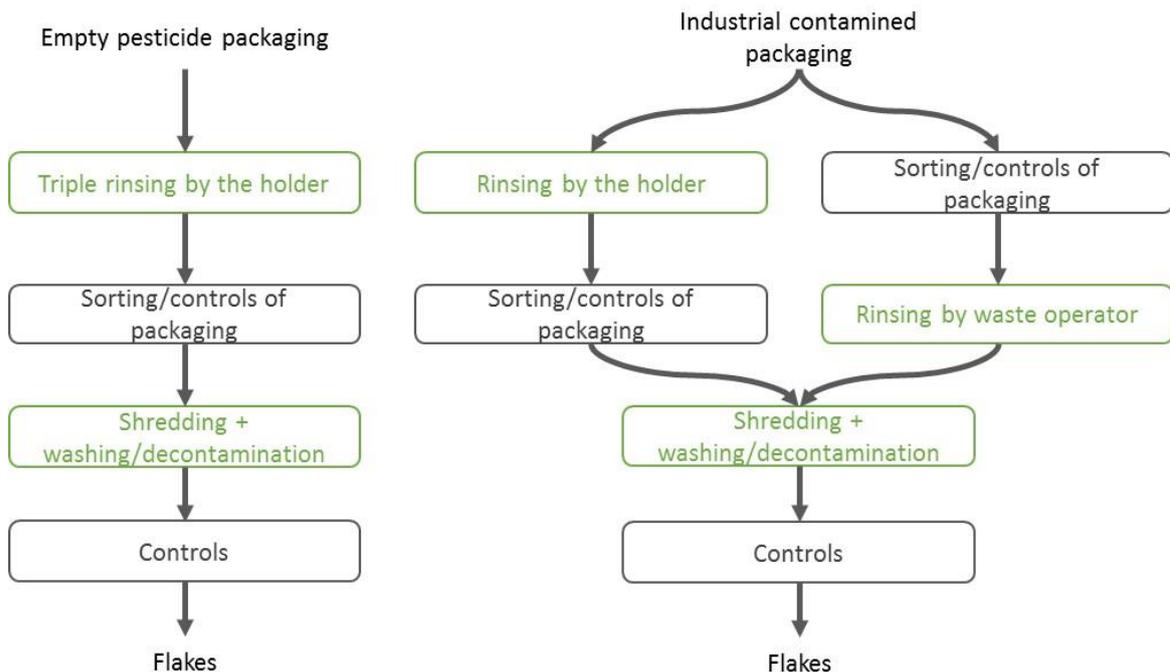
Les opérations de rinçage sont surtout effectuées par les agriculteurs, détenteurs d'emballages de produits phytosanitaires alors que les opérations de lavage/décontamination sont effectuées par les broyeurs et recycleurs. Dans le cas des emballages industriels, il est souvent demandé au détenteur du déchet de fournir un emballage « propre » à l'œil nu mais une opération de rinçage préalable n'est pas requise.

The rinsing is mainly done by the farmers, owner of pesticides products packaging, while the washing for decontamination is done by the recycler or the shredder. In the case of the industrial packaging, it is often asked at the holder to provide a visually clean packaging, but the rinsing step is not required.

Le schéma suivant présente schématiquement les différents systèmes de gestion pour le recyclage des emballages ayant contenu des substances dangereuses.

The following chart present the different system for the management of recycling packaging's, which have contained hazardous substances.

The different system for the management of recycling soiled packaging



Les opérations de rinçage sont réalisées dans un but de valorisation matière des emballages de produits phytosanitaires essentiellement. Il existe différentes techniques dont le triple rinçage qui permet d'atteindre des concentrations en substances dangereuses inférieure à 0,1%. Le bidon possède ainsi les critères lui permettant de sortir du statut de déchet dangereux et peut être collecté puis recyclé.

Ces opérations de rinçage sont réalisées dans un but de valorisation matière des emballages de produits phytosanitaires. **Cela fait partie d'un schéma global de gestion des emballages** visant à s'assurer que :

- Les emballages sont rincés directement après l'utilisation de leur contenu ;
- Le schéma de collecte est organisé de façon à ce qu'il soit facile à l'utilisateur de les envoyer dans cette filière ;
- Un usage inapproprié des emballages est évité.

Avant le procédé de lavage, les déchets passent par une phase de tri afin de garantir la qualité du flux sortant de l'installation. La présence des étiquettes d'origine est essentielle, elle est utilisée comme base d'information pour le tri opérateurs. Elle permet notamment le contrôle de conformité du flux collecté, d'identifier la nature du produit contenu, de déterminer la classe de danger du produit. Le flux pourra être écarté de la filière de lavage/décontamination-recyclage s'il est non-conforme avec les règles de tri définies au préalable (soit par l'industriel soit par l'arrêté d'exploitation).

L'identification peut être complétée par différents test rapides (type bande pH) ou via des appareils d'analyses en cas de doute et le déchet peut être réorienté vers la filière d'incinération si celui-ci n'est pas levé.

La technique de décontamination vise à réduire à l'état de traces toute substance nocive ou toxique présente dans l'emballage et se différencie du rinçage.

Les techniques de lavage des emballages en vue de leur décontamination diffèrent peu les unes par rapport aux autres. À l'exception d'un projet au stade de recherche et développement, visant une décontamination au CO₂ supercritique, les étapes de lavage sont les suivantes :

- Les bidons sont égoûtés ;
- Ils sont ensuite broyés avec aspersion d'eau ;
- Le broyat grossier obtenu est à nouveau broyé en une fraction plus fine à l'aide d'un granulateur ;
- Les paillettes obtenues sont lavées à l'eau avec ajout de réactif soudé (solution à la soude caustique concentrée à 5%) ou de détergent :
 - Les paillettes sont lavées à l'eau chaude et ne nécessitent pas de lavage supplémentaire,
 - Les paillettes sont lavées à température ambiante et une étape de lavage complémentaire à la vapeur est effectuée. Ce lavage supplémentaire s'opère pour les substances ayant une moins bonne solubilité à l'eau à température ambiante ;
- Le mélange eau + paillettes sont convoyées jusqu'à l'unité de séchage (centrifugation) afin de séparer le mélange eau + réactif et les paillettes.

On peut distinguer quatre types de contrôles aval pour les installations de lavage² :

- Les contrôles sur les eaux de lavage (uniquement sur les installations autorisées à rejeter des eaux de process),
- Les contrôles sur les eaux pluviales ou de ruissellement,

The rinsing process in order to recycle the pesticide packaging. Many techniques can be used such as the triple rinsing, to achieve a concentration in hazardous substances below the limit values of the regulation. So they can cease to be a hazardous waste, and be collected and recycled.

That is a part of the global waste management to ensure:

- packaging's are rinse directly after use
- ease the collection and treat in an appropriate manner
- avoid a misuse of the packaging

Before the washing process, wastes are sorted to ensure the quality of output flow. The presence of the originals stickers is mandatory; they are used as a basic information by the workers. Stickers permit to control the quality of the collected flow, to identify of nature and to determine the harmfulness of the content. In a non-conformity case with the sorting rules, the flow might be removed from the process.

Additionally, to the identification some other test (pH-test for example) can be done. In the case of doubt, the waste can be reoriented in the incineration sector.

The decontamination process aims to reduce to trace amounts of harmful substances in the packaging.

All the washing techniques are more and less the same, except one project at the R&D stage using supercritical CO₂ for the decontamination. The main stages are:

- Drain the cans
- Shred the can with water sprinkling
- Re-shred in a smaller fraction
- Flakes are washed with sodium
 - Flakes are washed with hot water and don't need extra washing process
 - Flakes are washed at the ambient temperature and necessitate an extra washing step with steam. This extra step is used for substances with a lower solubility with water at ambient temperature.
- The mix water + flakes are dry to remove the water + reagent from the flakes

Four types of control are made downstream of the washing facilities⁵:

- The control of the waste water (only for facilities authorized to reject process water)
- The control of the stormwater
- The control of the presence of residual pollutant on the plastic matter grind
- The traceability of the plastic

State of art on migration on chemical substances within plastic packaging

The migration of molecules through a polymeric matrix depends on many factors such as the nature of the polymer, its molar mass, the temperature and the presence of plasticizers. Moreover, the nature of the polymer and its content are no negligible factors impacting the migration of substances. Factors like the free volume in the matrix and the mobility of the string are directly influencing the migration process. Unsaturation rate, crystallinity, and substituent nature are factors that will modify the polymeric

² Source : enquête réalisée par RDC dans le cadre de cette étude et arrêté d'exploitation de certaines installations de traitement

⁵ Survey realized by RDC Environment

- Les contrôles sur la présence de contaminants résiduels sur la matière plastique broyée,
- La traçabilité du plastique à recycler.

État de l'art sur la migration des substances chimiques au sein des matériaux d'emballage plastique

La migration de molécules au travers d'une matrice polymère dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la nature du polymère, sa masse moléculaire, la présence de plastifiant, la température et la densité de pontage dans la matrice. Au-delà des différents paramètres discutés auparavant, la nature du polymère et de son contenu sont les éléments prédominants affectant la migration de substances. Les facteurs tels que le volume libre dans la matrice et la mobilité des chaînes influencent directement le procédé de migration alors que le taux d'insaturation, de réticulation, de cristallinité et la nature des substituants sont des facteurs qui vont modifier la structure du polymère et par conséquent influencer indirectement la migration. La complexité des interactions ne permet pas d'évaluer facilement les phénomènes de migration dans une matrice polymère. Extraire des généralités sur la migration dans des matrices polymères sans en évaluer précisément les différentes propriétés explicitées ci-dessus n'est pas réaliste. Les interactions contenant/contenu étant fortement dépendantes de la nature des emballages et des substances chimiques en contact, une analyse au cas par cas s'avère indispensable à la compréhension des phénomènes de migration. La détermination précise de la nature chimique des substances au contact des matériaux usuellement utilisés est donc indispensable pour la suite de l'étude.

Les études montrent que les polyoléfines sont susceptibles d'absorber les différentes molécules organiques et inorganiques étudiées, par diffusion dans les phases amorphes.

Lors des deux études d'Iring³ et Czop⁴, la masse des matrices polyoléfines a été modifiée par le contact des différents composés liquides étudiés. De façon générale, une première phase d'absorption des liquides dans la phase polymère est suivie par une phase de dissolution où la perte de masse des matrices polyoléfines est observée. Dans le cas des solvants organiques, les phénomènes d'absorption et de dissolution sont plus intenses. L'ampleur de la dissolution augmente avec le temps de contact et l'intensité de la dissolution varie en fonction des matrices polyoléfines. L'absorption et la dissolution sont plus importantes dans les matrices PP que pour celles HDPE. Les composés inorganiques oxydants (ex : peroxyde d'hydrogène) dégradent plus les matrices polyoléfines que les autres substances chimiques. Les bases impactent beaucoup moins les matrices polyoléfines.

Les additifs métalliques présents dans les matrices polymères sont susceptibles de se dissoudre dans les solutions d'acides concentrées.

Enfin, les composés organiques, tel que l'acétone, extraient plus facilement les antioxydants des matrices PP que de celles en PE.

Il est à noter que la bibliographie est très pauvre sur le sujet qui nous concerne directement. Aucun article n'est en adéquation avec la thématique de migration dans les emballages polymères des produits phytosanitaires. Les articles identifiés

structure and consequently influence the migration too. The interaction complexity does not allow an evaluation of the phenomenon of the migration within the polymeric matrix. It is not possible to conclude generally on the migration within the polymeric matrix without evaluating with accuracy the properties listed above. The interaction between the content and container are strongly influenced by the nature of the packaging and the chemical content, but a case-by-case analysis is necessary for the full understanding of the migration phenomenon.

Studies show that polyolefin is potentially able to absorb different organic and inorganic molecules, by diffusion in the amorphous phase.

According to Iring⁶ and Czop⁷, the polyolefin mass is modified by the contact of the different liquid. In a general manner, the first phase composed by the liquid absorption in the polymeric state is followed by the dissolution or the mass losses of the polyolefin matrix observed. For the organic case, the absorption and dissolution phenomenon are more intense. The scale of the dissolution increase with the time contact and dissolution intensity differ with the polyolefin matrix. The absorption and the dissolution are more significant for the PP matrix than the HDPE matrix. The oxidizing inorganic compounds degrade more the polyolefin matrix than the other chemical substances. Bases are less impacting the polyolefin matrix.

The metallic additives are susceptible to be dissolved in acid concentrate solutions.

Organic compounds, such as acetone, extract more likely antioxidant from PP matrix rather than PE matrix.

The bibliography is poor in terms of sources that directly concerns our topic. No paper has been written in adequacy with the migration of phytosanitary product within the polymeric packaging. The articles identified are associated to the migration of substances in soils and to the quantification of the residual forms in agricultural products. Therefore, on the methodological basis proposed, there is no bibliographic references describing the pesticide products migration to the container, after been used, washed and recycled.

State of art of sanitary risks related to recycling of plastic packaging's which have contained hazardous substances

The identification of potential epidemiological or toxicological studies concerning sanitary risks related to recycling of plastic packaging's has been conducted with the aim to establish the state of the art of sanitary risks related to recycling of plastic packaging's which have contained hazardous substances.

The bibliography is poor, no studies are available allowing the identification of the different phase of the treatment cycle having sanitary or environmental consequences. However, a Canadian study on the exposition of workers involved in the recycling process of phytosanitary packaging shows that the rinsing and the sorting phases have less impact on workers than the grinding phase. There

³ Martig Iring et al., Die Angewandte Makromolekulare Chemie 181 (1990) 129 -142 (Nr.3078)

⁴ Monika Czop et al., CHEMIK 2012, 66, 4, 307-314

⁶ Martig Iring et al., Die Angewandte Makromolekulare Chemie 181 (1990) 129 -142 (Nr.3078)

⁷ Monika Czop et al., CHEMIK 2012, 66, 4, 307-314

sont liés à la migration des substances des produits phytosanitaires dans les sols et à la quantification de ces substances sous forme résiduelle dans les produits agricoles. Ainsi, sur la base de la méthodologie proposée, il n'existe pas de référence bibliographique décrivant la migration des produits phytosanitaires vers ou depuis des contenants après usage, nettoyage et recyclage.

État de l'art des risques sanitaires associés au recyclage des emballages plastiques ayant contenu des substances dangereuses

L'identification d'éventuelles études épidémiologiques ou toxicologiques concernant les risques sanitaires associés au recyclage des contenants en plastique recyclé a été réalisée dans le but d'établir un état de l'art des risques sanitaires associés au recyclage des emballages plastiques ayant contenu des substances dangereuses.

Là encore, la bibliographie est très pauvre. Il n'y a pas d'étude disponible permettant d'identifier les phases du cycle de traitement (du rinçage de l'emballage à la régénération du plastique) ayant des conséquences sanitaires et environnementales potentielles les plus importantes. Toutefois une étude canadienne s'est intéressée à l'exposition des travailleurs impliqués dans le recyclage d'emballages de phytosanitaires en plastique ou en métal. Il semble que la phase de vidange et tri expose un peu moins le travailleur que la phase de broyage. Mais on n'a pas de résultat pour la phase de refonte, qui n'était pas incluse dans cette étude. De plus, seul trois sites et deux pesticides indicateurs ont été mesurés. Il est probable que ce sont les résidus de produits dans le fond des contenants ou sur leurs parois plus que ceux ayant migré dans la matrice polymère que l'on retrouve dans les expositions des travailleurs.

Concernant les personnes les plus exposées aux risques sanitaires et environnementaux, une seule étude compare l'exposition, aux COV (Composés Organiques Volatils), des travailleurs et à celles des habitants aux alentours des ateliers de recyclage. Les risques non cancérigènes liés aux COV émis lors du recyclage des plastiques ayant contenu ou non des substances dangereuses sont comparables. Cette étude montre que la nature initiale du polymère influence la quantité et la qualité des émissions de COV. Les émissions les plus dangereuses sont identifiées lors de la refonte des trois polymères suivants : acrylonitrile-butadiène styrène (ABS), polystyrène (PS), polyamide (PA). L'étude ne donne pas de précision quant aux contenus des plastiques recyclés, il est donc difficile d'extrapoler directement ces résultats. Bien que récente et relativement convaincante au plan méthodologique cette étude n'est pas suffisante pour en tirer des conclusions relatives à la problématique des plastiques ayant contenu des substances dangereuses.

Une des recommandations explicite du groupe d'experts ayant contribué à la rédaction du rapport du JRC (Joint Research Center-2014) est que les déchets de plastiques qualifiés pour une sortie du statut de déchet ne doivent présenter aucune des 15 propriétés de danger (chapitre 3.2, p149). Globalement, aucune restriction d'usage graduelle n'est proposée, en fonction de la plus ou moins grande teneur en substances dangereuses dans les plastiques recyclés mais propose de fixer une limite de 2 % maximum à la teneur en substances qui ne sont pas des constituants du polymère. Selon les substances cette teneur peut largement classer le déchet comme dangereux pour l'une ou l'autre des 15 propriétés de dangers. Par exemple un déchet contenant plus de 0,1 % d'une

is no result for the melting phase, not included in the study. Moreover, only 3 sites and 2 pesticides have been studied. It is more likely the residual substances on the bottom or on the sides that exposed workers rather than substances within the polymeric matrix.

Concerning the people more exposed to the sanitary and environmental risks, only one study compares the exposure to the VOC between workers and residents around the recycling facilities. The non-carcinogenic risks related to VOC emitted by the plastics recycled which have contained hazardous substances or are not comparable. The study shows that the initial polymeric nature influences the quality of VOC released. The most dangerous emissions are identified during re-melting of the 3 following polymers: Acrylonitrile-butadiene styrene (ABS), polystyrene (PS), polyamide (PA). The study does not indicate the plastic content. Therefore, it is not possible to extrapolate the results. Although this study is convincing in its methodological way, it is not enough to conclude on plastics which have contained hazardous substances.

On explicit recommendation from the expert group that has contributed to the JRC (2014) report is plastic wastes should not be concerned by one of the 15 hazard properties (chapter 3.2, p.149). No using restriction are proposed according to the concentration of hazardous substances in the recycled plastics. But proposed to limit the concentration to 2% non-continuing polymer substances. Depending on the substances, this concentration may consider the waste as hazardous for one of the 15 properties of danger. For example, if the waste contains more than 0.1% of carcinogenic substances it will be considered as hazardous. Similarly, the maximum concentration of the persistent organic pollutant listed in the Pop regulation is usually 50mg/kg, equivalent to 0.005%.

Test performed on plastics in specific industrial area

The aim is to know tests done by industrial users of plastics. Indeed, regarding the poor bibliography, and particularly on substances migration and sanitary risks, this chapter has been writing in order to open the subject to other industrial sector using plastics containing hazardous substances. The idea is to identify how the risks for the customers is evaluated and extract the knowledge in order to apply the methodology to soil plastic packaging.

The activities studied are the one using recycled plastics in their products but not necessarily derived from soil packaging. Indeed, the application identified for packaging's which have contained hazardous substances seems not to be tested under specific conditions. So we investigate on automobile industries, electrical equipment industries, agribusiness industries to link the application with the soil plastics packaging possibilities.

Automobile Industries

The automobile industry focuses on evaluating volatile organic compound (VOC) released by materials or pieces used in the vehicle interior and released a complex mix of many volatile compounds. The VOC are defined as a remaining gaseous substances after being released, while the compound has a vapor pressure of 10^2 kPa at 25°C. The VOC may have a negative effect on the wellbeing (odor) and on the health (allergy, headaches, eyes irritation). Most of the VOC present in the air (aldehydes)

substance cancérigène est considéré comme dangereux. De même, les teneurs maximales pour les polluants organiques persistants listés dans le règlement POP sont généralement de 50 mg/kg, soit la teneur à ne pas dépasser de 0,005 %.

Test effectués sur les plastiques dans certains domaines industriels

L'objectif est de s'intéresser aux tests effectués par les industriels utilisateurs de matières plastiques. En effet, à la vue de la faiblesse de la bibliographie, notamment sur la migration et sur les risques sanitaires, ce chapitre est rédigé dans l'optique d'ouvrir le sujet sur d'autres secteurs industriels travaillant avec des plastiques contenant des substances dangereuses. L'idée est d'identifier comment les risques vis-à-vis de l'utilisateur final sont évalués par les industriels afin d'en tirer les enseignements pour initier une réflexion sur une démarche méthodologique concernant les plastiques d'emballages souillés.

Les secteurs qui sont retenus sont des secteurs utilisant des matières plastiques recyclées dans leurs produits mais pas nécessairement celles issues des emballages souillés. En effet, les applications identifiées pour les emballages ayant contenu des substances dangereuses ne semblent pas subir de tests particuliers. L'idée est donc d'orienter les investigations vers les secteurs de l'industrie de l'automobile, l'industrie des équipements électriques et électroniques et agroalimentaire afin d'identifier les potentiels parallèles qui pourraient être fait avec les plastiques d'emballages souillés.

L'industrie automobile

L'industrie automobile se concentre sur l'évaluation des composés organiques volatils émis par les matériaux et pièces utilisés dans l'habitacle et émettent un mélange complexe de nombreux composés volatils. On définit ainsi les COV (Composés Organiques Volatils) comme des substances volatiles qui restent gazeuses après avoir été émises, ces composés ayant une pression de vapeur supérieure à 10^{-2} kPa à 25°C. Les COV peuvent avoir des effets négatifs sur le bien-être (odeurs indésirables) et sur la santé (allergies, irritations des yeux et de la gorge, maux de tête,...). La plupart des COV présents dans l'air (comme les aldéhydes) ont un seuil de perception très bas et ont donc un impact important au niveau de la perception de la qualité de l'air.

Les principaux COV étudiés sont les aldéhydes et cétones, amines, nitrosamines, BTXES (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène ??), éthers de glycols, phtalates, phénols, alcools, hydrocarbures halogénés et esters. Les méthodes d'échantillonnages des matériaux sont variées (headspace, sac, micro-chambre, chambre d'émission,...); de même que les protocoles analytiques qui diffèrent d'un constructeur à l'autre.

Les méthodes de mesures d'émissions de COV et d'odeurs sont aujourd'hui normées à travers les normes ISO 12219-1 à 12 219-7.

Les valeurs limites en termes de composés organiques volatils totaux (COVT), de composés cibles tels que les BTXES, les amines, les aldéhydes et cétones et de niveaux d'odeur acceptable sont établies par le constructeur.

L'industrie (de traitement) des équipements électriques et électroniques (EEE)

La Directive européenne RoHS (2002/95/CE puis 2011/65/EU), d'application depuis février 2003, vise à limiter l'utilisation de plusieurs substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Les substances concernées par RoHS 2 sont le plomb, le mercure, le cadmium, le chlore hexavalent, les polybromobiphényles (PBB),

have a low perception threshold, therefore, they influence the air quality perception.

The main VOC studied are aldehydes and ketones, amines, nitrosamines, BTXES, ethers de glycols, phthalates, phenols, alcohols, hydrocarbons halogens et esters. The sampling methods are wide as well as the analytical protocols that differ for each company.

Nowadays, the VOC emission and odor measurement are normed with the norms ISO 12219-1 to 12 219-7. The limit value is fixed in terms of total volatile organic compound, target compound such as BTXES, amines, aldehydes and ketones as well as the acceptable odor by the constructor.

Electrical equipment industries

The European Directive RoHS (2002/95/CE than 2011/65/EU), applied since February 2003, aims to limit the use of several hazardous substances in the electrical and electronic equipment. The substances concerned by RoHS 2 are lead, mercury, cadmium, chlorine, hexavalent, polybromobiphenyles (PBB), polybromodiphenylethers (PBDE) and four other phthalates (DEHP, BBP, BBP, DIBP). The maximal concentration is 0.1% per mass unit of homogeneous material, except for cadmium which has a maximal concentration of 0.01%.

Those substances have been regulated while they are dangerous for the environment and pollute landfills. They are also dangerous for workers during the manufacturing and the recycling phase of WEEE. The limitation in the fresh product permits to limit their concentration in the recycled product.

For the RoHS conformity, X fluorescence portable analyzer are widely used. They are able to quantify or qualified all element between magnesium and uranium depending on the specific setting of each device.

This technology is also used in WEEE facilities to detect the presence of POP and brominated flame retardants present in plastics.

The technologies used for the separation of brominated flame retardants are:

- Sliding spark spectroscopy
- XRF technology
- XRT technology
- Raman spectrometry
- Flotation Separation (brominated flame retardants increase the plastic density when they are present at their usual concentration above 3%)

Agribusiness

To control the recycled plastic ability to be in contact with food, it is mandatory to link the raw material to the decontamination process. Even, recycled plastic flow targeted to be in contact with food are coming from the alimentary packaging. It is appropriate to conduct a risk analysis on the possible contaminant. This analysis defines the recycling process and the test made during the process.

In practice, tests are made according to the most unfavorable scenario. The material is voluntarily contaminated by the identified substance at a known concentration in order to define the decontamination capacity. If the recycled product fulfilled the requirements defined by the regulation even with an unfavorable scenario, then the process is able to produce a recycled product that can be reused for alimentary packaging.

The total data gathered on the materials analysis: the global and specific migration analysis and organoleptic analysis are part of the conformity requirement for the packaging.

polybromodiphényléthers (PBDE) et quatre différents phthalates (DEHP, BBP, BBP, DIBP). Les concentrations maximales de ces substances sont de 0,1 % par unité de poids de matériau homogène, sauf pour le cadmium où la limite est de 0,01 %.

Ces substances ont été réglementées car elles sont dangereuses pour l'environnement et la polluent les centres d'enfouissement. Elles sont également dangereuses en termes d'exposition professionnelle pendant la fabrication des EEE et le recyclage de ceux-ci. Leur limitation dans les produits neufs permet donc de limiter leur concentration dans les produits recyclés.

Les analyseurs portables par fluorescence X (XRF), sont largement utilisés pour la conformité RoHS. Ils peuvent quantifier ou qualifier pratiquement tous les éléments entre le magnésium et l'uranium, en fonction des configurations spécifiques de chaque instrument.

Cette technologie est également utilisée dans les centres de traitement des DEEE pour détecter la présence de substances POP et retardateurs de flammes bromés dans les plastiques.

Les technologies utilisées pour la séparation des retardateurs de flamme bromés sont les suivantes :

- Spectrométrie à étincelle (*Sliding spark spectroscopy* en anglais) ;
- Spectrométrie de fluorescence des rayons X (*XRF technology* en anglais) ;
- Spectrométrie par transmission des rayons X (*XRT technology* en anglais) ;
- Spectrométrie Raman (*Raman spectrometry* en anglais) ;
- Séparation par flottation (les retardateurs de flamme bromés augmentent significativement la densité des plastiques ABS et HIPS lorsqu'ils sont présents à leur concentration typique supérieure à 3%).

L'industrie agroalimentaire

Pour contrôler l'aptitude au contact des aliments des emballages fabriqués avec des matières plastiques recyclées, il est nécessaire d'associer, à la description des matières premières, les procédés mis en œuvre pour éliminer les contaminations éventuelles. Bien que les flux de plastiques à recycler et destinés au contact alimentaire soit majoritairement issus d'emballages alimentaires, il convient de mener une analyse des risques sur les contaminants possibles. Cette analyse conditionne le recyclage les tests sur le procédé de recyclage.

En pratique, les tests sur le procédé de recyclage sont menés pour le scénario le plus défavorable. Le matériau à recycler est volontairement contaminé par des substances identifiées et à des concentrations connues afin de déterminer sa capacité de décontamination. Si le produit recyclé satisfait les exigences fixées par la réglementation même lors d'un test défavorable, alors le procédé est capable de produire des recyclés réutilisables pour les applications d'emballage alimentaire.

L'ensemble des données recueillies sur l'analyse des matériaux, l'analyse des migrations globales et spécifiques et les analyses organoleptiques font partie du dossier de conformité de l'emballage. Les matériaux plastiques recyclés doivent être évalués par les différentes analyses des matériaux, de migration et organoleptiques afin d'être approuvés pour le contact alimentaire. Enfin, il existe des outils mathématiques qui permettent de démontrer la conformité de matériaux destinés au contact avec les aliments. Ces outils d'aide à la décision de la conformité des emballages alimentaires proposent une base de données des propriétés physico-chimiques des emballages plastiques et de certaines molécules.

Recycled plastic materials have to be evaluated by different material, migration, and organoleptic analysis in order to prove that they conform to be in contact with food.

Finally, some mathematical tools allow to demonstrate the conformity with food contact. Those tools help to take decisions, offer a database on plastic packaging and or specific molecules with physical-chemical properties.

Conclusions

The study of the regulatory situation shows that many regulations are applicable depending the status of the material to be recycled: regulation on hazardous waste and nonhazardous waste and regulation on product. We have established that, the washing process to decontaminate hazardous packaging are not more regulate than nonhazardous materials at the European or national level. However, those practices are strongly supervised by the local authorities in charge.

Except one project at the R&D phase, aiming a decontamination with Supercritical CO₂, washing technics for decontamination consists of pre-wash, shred, wash with hot water and chemical reagent, and ends with the drying. The significant aspect that differentiates processes is the sorting step, which selects packaging according to the substances they have contained.

The migration of molecules through a polymeric matrix depends on many factors such as the nature of the polymer, its molar mass, the temperature and the presence of plasticizers. The interaction between the content and container are strongly influenced by the nature of the packaging and the chemical content, but a case-by-case analysis is necessary for the full understanding of the migration phenomenon.

The bibliographic research on the migration of hazardous substances of phytosanitary product did not permit to identify any scientific article link to this topic.

The bibliography study on acid, base and organic solvent interaction with different polyolefin matrix has permit to identify two studies: One referring to the different interactions between different liquids and polyolefin matrix, the other one refer to the impact of few chemical substances on polyolefin degradation, and especially on PE and PP waste.

Those studies show that polyolefin is potentially able to absorb organic and inorganic molecules studied, by diffusion in the amorphous phase.

The bibliography on sanitary risks associated with the recycling of packaging which has contained hazardous substances is poor. The research field is probably too innovative to have been the topic of scientific research. But it is also possible that there is not possibility to investigate on it. Nevertheless, it has been possible to identify some studies on the effect of exposing workers to phthalates, VOC, and phytosanitary substances.

What is missing today, is a thin characterization of plastics flows which have contained hazardous products potentially recyclable. Once the flow has been fully characterizing, an inventory of the hazardous substances contain in the package is a starting point to evaluate the risks for the health and the environment.

Conclusions

L'étude de la réglementation a montré que de nombreuses réglementations sont applicables en fonction du statut de la matière à recycler : réglementations sur les déchets dangereux, sur les déchets non dangereux et réglementations sur les produits (ou matériaux). Force est de constater que les pratiques de lavage en vue de la décontamination des emballages dangereux ne sont pas plus réglementées que celles de matériaux non dangereux au niveau des textes européens ou nationaux. Cependant, ces pratiques sont fortement encadrées par les autorités locales compétentes.

À l'exception d'un projet au stade de recherche et développement, visant une décontamination au CO₂ supercritique, les techniques de lavage en vue de la décontamination consistent en un pré-rinçage, un broyage, un lavage à l'eau (chaude) avec ajout de réactifs (souvent un tensio-actif) et un séchage. L'aspect différenciant le plus ces procédés réside dans l'étape de tri préalable, qui sélectionne les emballages en fonction des substances et mélanges ayant été contenus.

La migration de molécules au sein d'une matrice polymère dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la nature du polymère, sa masse moléculaire, la présence de plastifiant, la température et la densité de pontage dans la matrice. Les interactions contenant/contenu étant fortement dépendantes de la nature des emballages et des substances chimiques en contact, une analyse au cas par cas s'avère indispensable à la compréhension des phénomènes de migration.

L'étude bibliographique de la migration des substances chimiques dangereuses des produits phytosanitaires n'a permis d'identifier aucun article scientifique en lien avec cette thématique.

L'analyse bibliographique des interactions d'acides, de bases et de solvants organiques avec différentes matrices polyoléfiniques a permis d'identifier deux études : une traitant de l'interaction entre différents composés liquides et différentes matrices polyoléfiniques et l'autre de l'influence de quelques substances chimiques sur la dégradation de polyoléfiniques, essentiellement des déchets de PE et PP. Ces études montrent que les polyoléfiniques sont susceptibles d'absorber les différentes molécules organiques et inorganiques étudiées, par diffusion dans les phases amorphes.

La bibliographie sur les risques sanitaires associés au recyclage des emballages ayant contenu des substances dangereuses est très faible. Le champ d'intérêt est certainement trop novateur pour avoir fait l'objet d'études scientifiques, il est aussi probable qu'aucun terrain d'investigation ne soit disponible. Il a été cependant possible d'identifier quelques études sur l'exposition des travailleurs ou de la population aux phtalates, aux composés organiques volatiles et aux phytosanitaires.

Ce qu'il manque aujourd'hui est une caractérisation fine des flux de plastiques ayant contenus des produits et substances dangereux candidats pour un éventuel recyclage. Une fois les flux correctement caractérisés (comme par exemple ceux des emballages de produits phytosanitaires), un inventaire des substances dangereuses potentiellement présentes est un point de départ indispensable pour évaluer les risques pour la santé et pour l'environnement.