

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

**SUBSTANCES EMERGENTES, POLLUANTS EMERGENTS
DANS LES DECHETS : ANALYSE ET PROSPECTIVE**

**EMERGING POLLUTANTS IN WASTE:
ANALYSIS AND PROSPECT**

juin 2012

M.-A. MARCOUX, M. MATIAS, F.OLIVIER - Ecogeos

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets – 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.

- ✓ En Bibliographie, le document dont est issue cette synthèse sera cité sous la référence :
RECORD, Substances émergentes, polluants émergents dans les déchets : analyse et prospective, 2012, 182 p, n°10-0143/1A

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

RESUME

La présence dans les produits en fin de vie et donc dans les déchets de substances émergentes peut présenter des risques pour la santé, l'environnement ou pour les procédés de traitement eux-mêmes. Il peut s'agir de substances émergentes dans l'environnement, de substances déjà identifiées comme à risque et interdites à l'utilisation en France, mais qui peuvent être présentes dans les déchets de produits anciens ou dans les déchets de produits d'importation, ou de substances déjà connues mais dont l'utilisation récente dans de nouveaux produits peut générer des problèmes s'agissant de leur traitement futur sous forme de déchets. Une synthèse bibliographique et des entretiens auprès d'experts à partir d'une liste pré-établie de substances (nanoparticules, micropolluants, OGM, pesticides, résidus médicamenteux) ont permis d'évaluer les informations et les connaissances disponibles quant à la présence de ces catégories de nouveaux polluants dans les déchets. De manière générale, peu d'études scientifiques ont été réalisées pour évaluer la présence de ces substances dans les déchets. L'ensemble des filières de traitement classiques est concerné par les nouveaux polluants, même si les filières produisant des résidus liquides (lixiviats d'ISDND, boues de STEP) sont plus particulièrement sensibles à la présence des micropolluants. La question spécifique des rejets diffus semble particulièrement problématique, du fait de leur quasi continuité (pseudo-persistance) et de la grande variété de polluants présents. Des difficultés analytiques ont été recensées quant à l'évaluation de la présence de polluants émergents dans les déchets et/ou leurs résidus de traitement. La quantification des flux de déchets concernés ou des substances polluantes résiduelles dans les déchets est également complexe puisqu'elle nécessite de connaître les concentrations dans les diverses applications ainsi que les voies de dégradation de ces substances lors de l'utilisation du produit les contenant ou du traitement des déchets. Une analyse prospective visant de nouvelles substances peu ou pas documentées, mais susceptibles de se retrouver dans les déchets a également été réalisée, à travers des entretiens auprès de différents acteurs et experts ciblés. Par ailleurs, un croisement de listes de polluants émergents établies par différents groupes d'experts et pour différentes matrices a été réalisé et une liste de polluants émergents potentiels par type de déchet a été établie.

MOTS CLES

Déchets, substance émergente, nanodéchets, micropolluants, analyse prospective.

SUMMARY

The presence in consumer products, and therefore in waste, of emerging substances whose behaviour and effects are not well understood, may present health and environmental risks as well as a risk for the treatment processes themselves. It may include emerging substances in the environment, substances already identified as risky and whose use in items is prohibited in France (but which may be present in old products waste or import products waste) or substances already known but whose recent use in new products can cause problems for their future treatment as waste. A literature review and interviews with experts based on a pre-established list of substances (nanoparticles, micropollutants, GMOs, pesticides, drug residues) were used to assess the information and knowledge available about the presence of these categories of new pollutants in waste. Few scientific studies have been conducted so far to assess their presence in waste. All conventional treatment processes are affected by these new pollutants, although the pathways that produce liquid residues (landfill leachate, sewage sludge) are particularly sensitive to the presence of micropollutants. The specific issue of diffuse releases seems particularly problematic, because of their near continuity (pseudo-persistence) and the wide variety of pollutants. Analytical issues were identified in the evaluation of the presence of emerging pollutants in waste and of their treatment residues. The quantification of waste streams involved or of residual pollutants in waste is also complex since it requires knowing the initial concentrations in the various applications, the degradation pathways of these substances when using the product or treating it as waste. A prospective analysis for new substances with few or no studies, but likely to be found in waste, was also conducted through interviews with various chosen key experts. Moreover, a lists' crossing of emerging pollutants established by various expert groups and for different matrices was carried out and a list of potential emerging pollutants by waste type was established.

KEY WORDS

Waste, emerging contaminant, nanowaste, micropollutant, prospect.

LEXIQUE

| ABREVIATION | SIGNIFICATION |
|--------------------|---|
| ADN | Acide DésoxyriboNucléique |
| BPA | Bisphénol A |
| ECHA | European Chemicals Agency (Agence Européenne des produits chimiques) |
| DASRI | Déchet d'Activité de Soins à Risque |
| DMA | Déchets Ménagers et Assimilés |
| DEHP | Di(2-ethylhexyl) phtalate |
| DI | Déchet Industriel |
| DIB | Déchet Industriel Banal |
| EPI | Equipement de Protection Individuel |
| ISD | Installation de Stockage des Déchets |
| ISDND | Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux |
| MNU | Médicament Non Utilisé |
| NP | Nanoparticule |
| NTC | NanoTube de Carbone |
| OGM | Organisme Génétiquement Modifié |
| OM | Ordures Ménagères |
| OMS | Organisation Mondiale de la Santé |
| PT | Produit de Transformation |
| PFOS | Perfluorooctane sulfonate |
| REACH | Registration, Authorisation and Restriction of CHemicals (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques) |
| RM | Résidus Médicamenteux |
| STEP | STation d'EPuration des eaux usées |

GLOSSARY

| ABBREVIATION | MEANING |
|---------------------|--|
| BPA | Bisphenol A |
| C&I | Commercial and Industrial waste |
| DEHP | Di(2-ethylhexyl) phtalate |
| DM | Domestic Waste |
| DNA | Deoxyribose Nucleic Acid |
| ECHA | European Chemicals Agency |
| GMO | Genetically Modified Organism |
| NP | Nanoparticle |
| PFOS | Perfluorooctane sulfonate |
| PPE | Personal Protective Equipment |
| PR | Pharmaceutical Residue |
| REACH | Registration, Authorisation and Restriction of CHemicals |
| TP | Transformation Product |
| WHO | World Health Organisation |
| WWTP | Waste Water Treatment Plant |

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.1. Contexte scientifique

L'évolution des modes de production et de consommation entraîne la présence dans les produits en fin de vie et donc dans les déchets, de nouvelles substances susceptibles d'engendrer des risques sanitaires et environnementaux différents de ceux envisagés jusqu'alors. Devant ce constat, l'association RECORD a décidé de mener une étude approfondie sur les nouvelles substances pouvant se retrouver dans les déchets, aux diverses étapes de leur traitement ou de leur valorisation.

La majorité des programmes de surveillance sont axés sur des substances réglementées qui répondent en général à des caractéristiques de persistance, bioaccumulation et/ou toxicité. Mais des questions se posent actuellement sur les impacts potentiels d'autres substances, pas nécessairement nouvelles sur le marché, mais non réglementées à ce jour : les substances émergentes. Il s'agit de substances qui ont été détectées dans l'environnement, qui ne sont pas encore incluses dans les programmes de suivi et dont le comportement, le devenir et les effets (eco)toxicologiques ne sont pas bien compris. Ces substances émergentes ne font pas l'objet d'une définition générale et il n'existe pas de liste exhaustive de composés inclus dans ce terme.

La notion de polluant émergent doit être définie en fonction du milieu visé. Ainsi, dans le cas particulier des déchets, certaines substances peuvent présenter des risques sanitaires et environnementaux (risques pour les travailleurs du déchet ou risques de rejet dans l'environnement) ou pour les procédés de traitement eux-mêmes (risques d'inhibition ou d'interférence avec les procédés). Il peut s'agir :

- de substances nouvelles et donc en particulier certaines des substances émergentes détectées dans l'environnement (ex : nanoparticules ou micropolluants émergents) ;
- de substances déjà identifiées comme à risque et interdites à l'utilisation en France, mais qui peuvent être présentes dans les déchets de produits anciens ou dans les déchets de produits d'importation provenant de pays ne réglementant pas ces substances ;
- de substances déjà relativement connues mais dont l'utilisation récente dans de nouveaux produits peut générer des problèmes concernant leur traitement futur sous forme de déchets (cas du mercure dans les ampoules à basse consommation).

I.2. Contexte médiatique et sociétal

Dans le cadre de cette étude, une enquête auprès de journalistes de presse spécialisée dans l'environnement et d'associations de protection de l'environnement et des consommateurs a été réalisée afin d'évaluer le contexte médiatique et sociétal d'apparition de cette problématique. D'une manière générale, les premières questions soulevées sur la présence de nouvelles substances polluantes dans les déchets ont fait surface dans le milieu de la recherche scientifique. Mais au fur et à mesure que des journaux spécialistes de l'environnement ont repris le sujet, celui-ci s'est ouvert à un public plus large et sensible aux questions touchant à l'environnement et au cadre de vie. Cet intérêt accru a mené par la suite les médias plus généralistes à alimenter le débat sur cette question et a ainsi permis de toucher un public plus large et avide d'information. Alors que les médias jouent un rôle important dans la divulgation des questions de société, le rôle prépondérant de lanceur d'alertes est tenu par les associations. De plus, la mise en place de nouvelles réglementations prenant en compte les progrès réalisés en termes de connaissance des substances ou encore l'élaboration d'études par les agences de sûreté sanitaire servent à relancer les débats, structurer les questionnements et les connaissances mais en même temps elles alimentent les craintes des citoyens.

Sur le contenu de la majorité des articles consultés dans la presse spécialisée, les thématiques les plus reprises actuellement touchent principalement à la contamination des aliments (ex : par des résidus de pesticides) ou des objets de consommation quotidiens (ex : additifs dans les biberons) qui affectent directement la santé des utilisateurs. Mais c'est la question de la qualité de l'eau de consommation qui tient une place prépondérante en établissant le lien entre l'utilisation de produits de consommation courante et le devenir de ces produits et des substances qu'ils contiennent, une fois sous forme de déchets. En particulier, l'efficacité du traitement des déchets (eaux usées et même lixiviats issus des ISD) est remise en cause, notamment s'agissant de produits auxquels est associée une filière de traitement de déchets dédiée comme dans le cas des résidus médicamenteux ou des pesticides. Par conséquent, même si la problématique de la gestion des déchets implique une chaîne de fonctionnement avec plusieurs acteurs (dont les utilisateurs qui peuvent participer aux collectes spécifiques), il semble qu'en cas de défaillance, le public se tourne plus facilement vers les pouvoirs publics et/ou les sociétés en charge du traitement, pas assez vigilants à leurs yeux.

Tout ceci a pour conséquence une plus grande méfiance par rapport au traitement de déchets contenant de nouvelles substances encore au stade expérimental (ex : OGM) ou à un stade de commercialisation récent (ex : nanotechnologies), à laquelle s'ajoutent les incertitudes scientifiques concernant le devenir de ces substances. En effet, le public peut percevoir l'intérêt de ces nouvelles technologies mais il est de plus en plus conscient que tous ces produits et leur élimination peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'environnement (Grunwald, 2008), d'autant plus que le cycle de vie d'un produit est un concept de mieux en mieux connu et divulgué. Preuve en est, le débat national sur les nanotechnologies où la question du cycle de vie des nanoproduits a été soulevée par l'audience (CNDP, 2010). Enfin, à l'inverse des États-Unis où les OGM et les nanotechnologies sont relativement bien acceptés et cela malgré les études encore en cours sur leur devenir, les Européens mettent en avant l'application du principe de précaution (moratoires et limitations au cas par cas), considéré comme une menace pour l'économie par les Américains (Kirilenko *et al.*, 2010).

I.3. Objectifs de l'étude

L'objectif premier de cette étude est d'apporter des éléments de réponse concernant la présence de ces substances nouvelles au sein du cycle de gestion des déchets et sur les risques qu'elles sont susceptibles de générer pour l'environnement au sens large (être humain mais aussi faune, flore, eaux de surface et eaux souterraines, etc.). Elle se scinde en deux parties principales :

- une analyse critique des situations déjà documentées : à partir d'une liste pré établie de substances (cf. Tableau 1), une revue bibliographique et des entretiens auprès d'experts ont permis d'évaluer les informations et les connaissances disponibles relativement à la présence de ces catégories de nouveaux polluants dans les déchets.
- une analyse prospective visant de nouvelles substances peu ou pas documentées, mais susceptibles de se retrouver dans les déchets : cette phase repose principalement sur des entretiens auprès d'acteurs et d'experts ciblés.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Méthodologie de la synthèse bibliographique

Cette synthèse bibliographique a été réalisée par substance et non par type de déchets ou mode de traitement. En effet, l'entrée par type de déchets nécessiterait de connaître la composition précise pour chaque catégorie d'article (matériaux plastiques, déchets textiles, OM...). Or ces données sont très rarement disponibles (grande variété d'articles et secret industriel). D'autre part, plusieurs études relatives aux modes de traitement de déchets ont été réalisées, mais l'efficacité d'un traitement en particulier dépend du type de substance considéré. L'exhaustivité bibliographique étant hors d'atteinte compte tenu du grand nombre de substances émergentes, les substances avec le plus large spectre d'utilisation et susceptibles de se retrouver en grande quantité dans les déchets ont été retenues dans le cadre de cette étude et classées par grandes catégories.

Tableau 1 : Liste des substances retenues dans le cadre de cette étude.

| Catégorie | Sous-catégorie |
|----------------------------|--|
| Nanomatériaux manufacturés | - |
| Micropolluants émergents | Pesticides* |
| | Résidus pharmaceutiques* |
| | Autres : additifs pour le plastique, surfactants, produits de soins corporels, antiseptiques, retardateurs de flamme ... |
| OGM | - |

* substance pour laquelle les déchets en contenant font l'objet d'une filière de collecte spécifique.

II.2. Principaux enseignements sur les nanomatériaux

Les quantités de produits issus des nanotechnologies sont en constante augmentation. La question des nanodéchets associés (déchets issus de la fabrication de nanomatériaux, produits contenant des nanomatériaux en fin de vie mais aussi résidus de nanomatériaux en suspension dans les eaux usées) constitue donc une problématique d'actualité.

Il n'existe aucune définition officielle des nanodéchets dans les cadres réglementaires actuels relatifs aux déchets. Dans le cadre de cette étude, est retenue une définition qui distingue les déchets de production / refus de fabrication (appelés nanodéchets manufacturés) des produits en fin de vie contenant des nanomatériaux (Boldrin *et al.*, 2011).

Tableau 2 : Différents types de nanodéchets et leurs sources.

| Type de nanodéchets | | Sources |
|--|--|--|
| Nanodéchets manufacturés | Déchets de nanomatériaux purs | Refus de fabrication et déchets de production de l'industrie manufacturière de nanomatériaux |
| | Objets souillés par des nanomatériaux (récipients, chiffons ou EPI jetables) | Industrie manufacturière de nanomatériaux |
| | Suspensions liquides de nanomatériaux | Effluents industriels Effluents de laboratoires de recherche Effluents ménagers |
| | Résidus provenant de la R&D | Laboratoires de recherche |
| Produits en fin de vie contenant des nanomatériaux | | OM, DIB |

Leurs propriétés et notamment leur toxicité dépendent du type de nanomatériau considéré, mais également de la localisation du nano-élément dans le déchet et des propriétés visibles ou attendues du macro-déchet. Compte tenu du manque d'informations à ce sujet, le principe de précaution dans la gestion des nanodéchets est recommandé par plusieurs organismes (AFFSET, INERIS, RSRAE, OFEV, Nanosafe). En France ces déchets ne font à ce jour pas l'objet de réglementations spécifiques et se retrouvent souvent en mélange dans les filières de collecte et de traitement traditionnelles.

Les recommandations actuelles concernant la manipulation et le transfert de nanodéchets (séparation à la source, identification, entreposage dans des containers étanches) se basent principalement sur le principe de précaution et sont par ailleurs difficilement applicables du fait de la difficulté à identifier les nanodéchets. Concernant leur devenir dans les installations de traitement de déchets, peu d'études scientifiques ont été réalisées.

- Valorisation matière : seules certaines NP (cas des NP d'or) ont une valeur suffisante pour que leur recyclage soit économiquement justifié. Concernant à l'inverse l'impact des NP présentes au sein des déchets sur les procédés de recyclage matière et sur la qualité des matériaux recyclés (textiles, papier, plastiques...), aucune étude n'a été identifiée.
- Pré-traitement sur place : des méthodes sont proposées (ex : dissolution de NP métalliques dans des bains acides, frittage à haute température) pour que les nanodéchets perdent leur caractère nanoscopique sur leur lieu de production mais leur efficacité mériterait d'être testée.
- Incinération : alors que les NP organiques sont supposées détruites lors de l'incinération, le devenir des NP minérales et métalliques soulève des questions. Des tests de combustion sont nécessaires afin d'évaluer si les NP qui ne fondent pas restent sous forme nanoparticulaire ou s'agglomèrent par frittage avec d'autres particules. Dans l'hypothèse d'une agglomération, les NP se retrouveraient dans les mâchefers ou seraient transportées sous forme agglomérée vers les filtres. A l'inverse, si la réagglomération des NP n'a pas lieu, celles-ci seraient transportées dans les fumées ce qui pose la question de l'efficacité des filtres.
- Stockage en ISD : une grande partie des NP produites est susceptible de se retrouver en ISD. Or, des questions subsistent sur l'interaction des NP avec les autres déchets présents, sur leur potentiel d'agrégation dans les lixiviats et leur diffusion à travers les membranes de fond. Des études à l'échelle du laboratoire ont montré que les fullerènes C60 étaient toxiques pour certaines bactéries en conditions aérobie et anaérobie (Fortner *et al.*, 2005), ce qui pourrait notamment être préjudiciable pour la biodégradation des déchets en ISDND. Par ailleurs, des tests en laboratoire et des modélisations devraient être réalisés afin d'évaluer l'impact des conditions environnementales (pH, conductivité, température...) sur la libération de NP.
- Traitement des effluents liquides : la question de l'impact des NP dans les STEP a été posée, que ce soit en termes d'interférence avec le procédé de traitement des eaux ou de leur devenir après traitement et de leur relargage dans le milieu naturel. Les processus qui régissent le transport des NP dans l'eau et en particulier dans les eaux usées ont été étudiés et notamment la photochimie des NP en vue de son application éventuelle dans le traitement de l'eau. Les principaux mécanismes susceptibles d'entrer en jeu sont : l'agrégation, le transport, le dépôt, la sorption et la désorption et l'adsorption par la biomasse. La capacité de ces processus à immobiliser ou détruire les NP dépend de la nature chimique et physique de ces dernières et des temps de séjour dans les compartiments de la filière de traitement. La floculation semble la méthode la plus appropriée pour éliminer les NP et en particulier les non biodégradables en milieu aqueux (Mackay *et al.*, 2006) ; des essais complémentaires à l'échelle industrielle sont cependant nécessaires pour confirmer les premiers résultats obtenus en laboratoire. Concernant la question de l'interaction des NP avec les traitements des STEP (en particulier NP d'argent : potentiel d'inhibition), plusieurs études contradictoires ont été répertoriées, justifiant des études complémentaires.

Concernant la quantification des flux de nanodéchets, plusieurs études étrangères ont été identifiées (Gottschalk *et al.*, 2009 & 2010 ; Blaser *et al.*, 2008 ; Boldrin *et al.*, 2011), mais de par leur comparaison délicate (champs d'études et cibles considérées différentes), l'extrapolation au cas français est difficile et n'a pas pu être réalisée dans le cadre de cette étude.

II.3. Principaux enseignements sur les micropolluants émergents

Les micropolluants émergents constituent une famille de composés complexes, avec des propriétés et des comportements variés. Par ailleurs, leur présence dans l'environnement peut donner lieu à plusieurs types de réactions de dégradation, entraînant la formation ou l'apparition de produits de transformation (PT) aux propriétés nouvelles.

Peu d'études se sont intéressées au devenir des micropolluants émergents lors de l'incinération. Les principales conséquences observées suite à la présence de certains de ces composés (BPA, phtalates, retardateurs de flamme, etc., riches en chlore) lors de l'incinération d'OM sont l'augmentation du taux de formation de dioxines, furanes et de composés chloro aromatiques (Söderström, 2003 ; Lenoir *et al.*, 2001 ; Sidhu *et al.*, 2005). Des procédures de combustion adaptées en incinérateur peuvent cependant permettre de réduire les émissions associées.

A l'inverse, de nombreuses études ont évalué le devenir de plusieurs micropolluants émergents dans le cadre du stockage des déchets. La lixiviation dépend évidemment du type de composé considéré et des conditions environnementales. En particulier, la présence de carbone organique dissous dans les lixiviats, qui dépend du type de déchet enfoui et de son niveau de biodégradation, influe fortement sur l'élution par adsorption et donc sur la quantité de composés lixiviés. Par ailleurs, les processus de biodégradation de ces composés au sein d'un massif de déchet ne sont pas encore totalement connus : certaines études ont donné lieu à des résultats contradictoires. Ceci pourrait être dû aux difficultés analytiques liées à la détection de ces composés et surtout de leurs métabolites. En effet, en l'absence de procédures standardisées, les méthodes employées et les composés recherchés varient d'une étude à l'autre, ce qui influe sur les résultats.

De manière analogue, la présence de micropolluants émergents dans les eaux usées et l'efficacité des STEP pour leur élimination ont été largement étudiées. Les principaux procédés pouvant avoir lieu sont la sorption, le stripping (ou volatilisation) et la dégradation biologique. Les taux d'élimination observés, variables selon les composés et le type de traitement, sont relativement élevés. Les procédés avancés comme l'ozonation, la filtration sur charbon actif et l'osmose inverse, assurent un traitement complémentaire de certains composés généralement mal retenus par les procédés biologiques et permettent d'atteindre des rendements d'élimination supérieurs à 70 % (AMPERES). Cependant, puisque ces micropolluants sont actifs à des concentrations extrêmement faibles (plusieurs dizaines de ng.L^{-1}), des traitements complémentaires doivent être envisagés. Par ailleurs la question du devenir de la fraction non biodégradable et du transfert de pollution doit être soulevée : ces substances ont tendance à se concentrer dans les boues d'épuration, qui peuvent être épandues.

II.4. Principaux enseignements sur les pesticides

Les pesticides sont des micropolluants utilisés depuis plusieurs décennies et de nombreuses études scientifiques ont évalué leur devenir à la fois dans l'environnement, l'eau et les déchets. Par ailleurs, la gestion des déchets contenant des pesticides est réglementée en France et fait l'objet d'une filière de collecte spécifique, qui permet un traitement adapté.

Cependant, il subsiste des rejets diffus de résidus de pesticides et la présence résiduelle de pesticides ou de PT dans les installations de traitement des eaux usées et dans les lixiviats d'ISDND semble le principal problème à résoudre. Tout comme pour l'ensemble des micropolluants émergents, cette détermination passe par la mise en place de méthodes de quantification permettant de déterminer un large spectre de composés (substances parentes et produits de transformation). Bon nombre de publications concernant le traitement des résidus de pesticides sont en effet relativement anciennes (1970-1990) et des recherches complémentaires pourraient être réalisées, étant donné l'évolution des connaissances sur les PT de pesticides et les progrès analytiques.

II.5. Principaux enseignements sur les résidus médicamenteux

Tout comme pour les pesticides, les déchets contenant des RM possèdent une filière de collecte et de traitement spécifique. Actuellement, l'incinération des déchets contenant des RM reste le traitement le plus utilisé. Les polluants produits lors de l'incinération sont considérés similaires à ceux produits lors de l'incinération d'OM. Il n'existe néanmoins aucune donnée estimative sur la totalité des émissions, seules des études partielles sur les émissions d'effluents gazeux ayant été réalisées pour les déchets médicaux. Pour les cytostatiques toutefois, une étude a montré que l'ajout de déchets de

médicaments anticancéreux en incinération ne modifiait ni la composition chimique des émissions gazeuses et particulaires ni les propriétés mutagènes et génotoxiques des mâchefers résiduels (ADEME, 2004). Ces études ne concernent cependant que les déchets souillés de médicaments anticancéreux ; elles ne permettent pas d'affirmer que les produits cytostatiques concentrés (médicaments avant reconstitution, médicaments périmés) seront effectivement éliminés et, en l'absence d'études complémentaires, la recommandation de l'OMS d'incinérer les anticancéreux au-delà de 1 000°C à 1200°C permet de respecter le principe de précaution (WHO, 1999).

Il est estimé qu'à ce jour seulement la moitié des MNU sont collectés en France (CYLAMÉD, 2011) ; les MNU non collectés spécifiquement sont éliminés principalement dans les toilettes ou dans la poubelle domestique et sont donc traités soit dans les STEP avec les effluents urbains, soit en incinération ou en ISDND en mélange avec les OM. Par ailleurs, une autre source de RM en quantités plus ou moins concentrées est constituée des effluents des industries de manufacture des médicaments (laboratoires pharmaceutiques, industrie chimique). Le contrôle des rejets imposés par la réglementation IPCC ne comprend pas, en effet, la recherche systématique et spécifique de RM éventuels, ces substances n'étant pas classées comme prioritaires. Des RM en quantités moindres sont aussi présents dans les effluents urbains, hospitaliers et d'élevage, éliminés par voie urinaire ou dermique. Les effluents des STEP sont ainsi considérés comme la source principale d'introduction de RM dans l'environnement, que ce soit sous forme de substance active brute ou de PT.

Des données sur les efficacités de traitement en STEP existent mais ces données sont rares et dépendent fortement des substances considérées, des types d'installations, des conditions locales ainsi que des procédures expérimentales (quelles substances et PT recherchés). La quantification des RM présents dans les déchets et en sortie des STEP nécessite la connaissance de plusieurs données de base, propres à chaque substance : mode d'utilisation et forme galénique du médicament, taux de collecte spécifique, type de STEP, taux d'élimination, etc.

Le principal risque de contamination lors du stockage en ISDND de déchets contenant des RM est lié à la lixiviation de ces composés et à leur accumulation dans les lixiviats (qui sont ensuite traités sur site ou en STEP). La recherche de RM dans les lixiviats d'ISDND et dans les eaux souterraines a fait l'objet d'études récentes, qui ont mis en évidence la présence de plusieurs RM et de leurs PT.

II.6. Principaux enseignements sur les OGM dans les déchets

Les quantités de déchets contenant des OGM restent à ce jour limitées en France. Le principal risque soulevé est celui de transfert horizontal de gènes mais ce mécanisme n'a pour l'instant pas été observé ; des études complémentaires seraient nécessaires pour l'évaluer.

Les déchets de laboratoire contenant des résidus d'OGM sont soit autoclavés avant rejet, soit traités avec les DASRI et incinérés. Contrairement à l'incinération, l'autoclavage ne détruit pas complètement l'ADN et le risque de transfert horizontal est évoqué (Doblhoff-Dier *et al.*, 2000).

Concernant les déchets d'OGM végétaux issus d'essais en plein champ, la pratique actuelle consiste à les laisser sur place à la fin des essais, ce qui ne détruit pas l'ADN (Poté *et al.*, 2010). Le compostage semble être un procédé plus sécurisé pour le traitement des déchets contenant des OGM puisqu'il permet de réduire le matériel génétique à un niveau pour lequel les gènes ne sont pas détectables (Murray *et al.*, 2007).

III. ETUDE PROSPECTIVE

III.1. Méthodologie de l'étude prospective

Cette phase prospective visait à identifier des nouvelles substances polluantes dans les déchets. Le champ d'étude relativement large (grande variété de matériaux et de substances considérés) a nécessité d'interroger un panel d'experts variés, à l'aide d'un questionnaire toutefois unique, pour permettre une intercomparaison des résultats.

Des experts de différents secteurs d'activité ont donc été consultés : traitement des déchets, gestion du risque environnemental et sanitaire, toxicologie, polluants émergents ou substances particulières (nanomatériaux, pesticides, résidus pharmaceutiques, génie génétique), des industriels et enfin des associations. Une participation relativement faible a cependant été obtenue, qui peut être justifiée en partie par le manque de connaissances disponibles sur les déchets. En effet, la plupart des études et programmes de recherches visant les polluants émergents se consacrent à la matrice eau et peu d'informations sont disponibles sur les déchets (excepté les effluents liquides et les boues de STEP). Les questionnaires concernaient les aspects suivants, pour chaque substance considérée :

- évolution attendue des flux ;
- nature du risque pressenti quant à leur présence dans les déchets ;

- probabilité de présence dans les principales filières de traitement des déchets ;
- degré de gravité de leur présence dans les filières de traitement des déchets ;
- niveau de complexité pressenti relativement au traitement de déchets ;
- possibilités de remplacement par d'autres substances.

Pour compléter les informations obtenues dans le cadre de l'enquête, un croisement d'informations relatives aux polluants émergents en général (dans l'environnement et pas uniquement pour la matrice déchet) a par ailleurs été effectué.

III.2. Principaux résultats de l'étude prospective

Plusieurs polluants ont été cités par les experts ayant répondu à l'enquête. Il convient de noter que ces polluants ont été cités à titre indicatif, et qu'il a été précisé qu'en aucun cas il ne s'agissait d'une liste exhaustive ou même prioritaire (quantitativement ou toxicologiquement parlant). Peu d'experts se sont exprimés sur le degré de gravité lié à la présence de ces polluants dans les différentes filières de traitement des déchets et sur le niveau de complexité du traitement nécessaire. Les polluants cités concernent tous types de déchets, que ce soit les DMA (rejets diffus de polluants) ou les DI.

Parmi l'ensemble des substances identifiées dans le cadre de cette étude prospective, beaucoup appartiennent à des catégories déjà citées (nanomatériaux et micropolluants émergents), mais l'intérêt de cette analyse est de mettre en évidence certaines substances au sein de ces catégories.

Pour les micropolluants émergents cités, ils sont présents surtout dans les effluents liquides et les boues, par conséquent principalement attendus dans la filière STEP. Ils peuvent être organisés selon la classification suivante :

- des substances préalablement identifiées dans le cadre de cette étude ;
- des substances dont la production est interdite en France et qui ne se retrouvent pas en tant que déchet de production, mais qui peuvent être présentes dans les déchets (import, produit en fin de vie) ou les résidus des centres de traitement (boues de STEP, lixiviats) et dont l'impact sur la gestion des déchets n'est encore pas complètement connu ;
- des substances pour lesquelles peu d'information existent quant à leur traitement dans les déchets. Au sein de cette catégorie, plusieurs familles de substances ont été identifiées, qui peuvent être ordonnées selon deux principales applications :
 - o des intermédiaires de réaction (alkyles phénols, benzènes et dérivés, solvants chlorés...) qui seront à rechercher principalement dans les effluents industriels (et non sous forme de déchet solide) ;
 - o des additifs pour divers types de produits tels que les plastiques, caoutchouc, papiers, textiles (PFOS, oxydes de diphenyl, phtalates, chloroalcanes, etc.). Ces composés sont susceptibles d'être présents dans les déchets solides, les rejets aqueux et les boues de STEP. Il s'agit d'un flux diffus (présence notamment dans les OM).

Par ailleurs, des informations sur des programmes de recherche en cours ou futurs ont été recueillies. Plusieurs projets relatifs à l'impact des nanoparticules dans les déchets et aux micropolluants émergents ont ainsi été identifiés. Alors que les études relatives aux NP sont en cours de lancement, les projets concernant les micropolluants sont plus avancés, en particulier en ce qui concerne leur présence en STEP. La thématique du risque lié au recyclage de déchets contenant des micropolluants (ex : additifs dans le plastique, les textiles, le papier, etc.) commence également à être prise en compte : la question de la contamination des matériaux recyclés par des déchets contenant des additifs et celle de l'accumulation de ces additifs dans le cadre d'un fonctionnement en économie circulaire sont soulevées.

Enfin, pour compléter les informations obtenues dans le cadre de l'enquête, un croisement de listes de polluants émergents établies par différents groupes d'experts et pour différentes matrices a été réalisé. Au total, 10 listes nationales et européennes ont ainsi été comparées, de manière à identifier les polluants les plus fréquemment cités. De même que pour les résultats de l'enquête, il s'agit principalement de micropolluants se retrouvant facilement dans les matrices liquides et donc susceptibles d'être présents majoritairement dans les effluents liquides industriels ou domestiques et les boues de STEP.

Alors que l'ensemble de cette étude a été réalisée à partir de l'entrée « substance » ou « catégorie de substances », la connaissance des substances potentiellement présentes par type de déchet présente un intérêt pour la gestion de ces déchets : anticipation et maîtrise des risques environnementaux et sanitaires liés à leur traitement, gestion des éventuelles interférences avec les procédés de traitement classiques, mise en place de filières appropriées. Une synthèse des informations recueillies dans le cadre de ce rapport quant à la présence potentielle de substances émergentes dans les déchets a donc été présentée (cf. annexe 1, Tableau 5). Cette liste, non exhaustive (que ce soit en termes de

type de déchet considéré ou de substances potentiellement présentes par type de déchet) et donc principalement indicative, nécessite d'être validée et complétée par des données quantitatives (quantités de polluants présents par type de déchet) et écotoxicologiques. Les données recueillies par le comité d'évaluation des risques de l'ECHA, dans le cadre de la procédure REACH, pourront contribuer à compléter ces informations. Par ailleurs, la publication récente par l'ECHA d'une liste d'articles de consommation contenant des substances très préoccupantes complète la liste élaborée ici (certaines substances sont citées dans les 2 listes, c'est le cas notamment des phtalates) et fournit des indications concernant leur toxicité et leur concentration (seuil minimum : concentration dans l'article supérieure à 0,1% en masse). Ces données sont synthétisées dans le Tableau 6 en Annexe 1 par type d'article (et par extension type de déchet) concerné.

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE R&D COMPLEMENTAIRES

De manière générale, peu d'études scientifiques ont été réalisées pour évaluer la présence de substances émergentes dans les déchets et hormis pour les déchets de pesticides et de médicaments, les déchets pollués par ces substances suivent les filières de traitement classiques. Pour les NP, compte tenu du manque d'informations, le principe de précaution est recommandé dans la gestion des nanodéchets, mais en France ces déchets ne sont à ce jour pas réglementés de manière spécifique et ils se retrouvent souvent en mélange dans les filières de collecte et de traitement traditionnelles. C'est le cas également pour les micropolluants émergents qui constituent une famille de composés complexe pouvant donner lieu à plusieurs types de réactions de dégradation et à la formation de produits de transformation aux propriétés nouvelles. A l'inverse, pour les OGM, les quantités de déchets restent limitées compte tenu qu'ils ne sont à ce jour utilisés qu'en laboratoire ou plus rarement en essais en plein champ.

Les filières de traitement susceptibles de recevoir les déchets ainsi pollués incluent :

- le **recyclage** qui pose le problème de la remise en circulation de produits contenant des substances polluantes, de leur éventuelle accumulation au cours des différents cycles et de la contamination d'autres produits recyclés au sein de la chaîne de traitement ;
- la **valorisation organique** pour laquelle la question de la qualité des composts obtenus est soulevée, principalement s'il s'agit de boues de STEP contaminées mais aussi de polluants présents dans la fraction organique des ordures ménagères ;
- l'**incinération**, qui est recommandée pour la gestion de filières dédiées telles que celles des produits phytopharmaceutiques ou des MNU mais pour laquelle des études complémentaires sont nécessaires ; en particulier, les NP soulèvent des questions quant à l'efficacité d'épuration des fumées par rapport à ces substances de taille nouvelle ;
- le **stockage**, dont la complexité des mécanismes de dégradation, qui peuvent dépendre de plusieurs paramètres (température, pH, type de déchets, etc.) rend difficile la prévision du comportement de certaines substances ;
- le **traitement en STEP**, qui semble constituer un maillon indispensable des chaînes de traitement des déchets pour ces substances émergentes (traitement des lixiviats d'ISDND, des effluents industriels et urbains plus ou moins chargés par les rejets diffus de micropolluants, etc.).

La question spécifique des rejets diffus semble particulièrement problématique : bien que les polluants y soient présents en quantités moindres en comparaison des rejets industriels de production, par exemple, leur prise en compte est importante du fait de leur rejet en continu (pseudo-persistance) et de la grande variété de polluants présents dans les produits de consommation (effet cocktail).

Pour ces substances nouvelles, des problèmes analytiques ont été recensés s'agissant de l'évaluation de leur présence dans les déchets et/ou les résidus de traitement des déchets. Les méthodes de détection classiques ne sont pas forcément adaptées à la détection de NP dans les matrices environnementales (déchets solides, lixiviats, boues de STEP). Les micropolluants émergents constituent quant à eux une famille de composés complexes, avec de nombreux produits de transformation, dont la connaissance et la quantification ne sont à ce jour, pas exhaustives.

La quantification des flux de déchets concernés ou des substances polluantes résiduelles dans les déchets est également complexe puisqu'elle nécessite de connaître les concentrations de ces substances dans les différentes applications (qui sont souvent nombreuses : cas des phtalates dans les textiles, les plastiques, les papiers, etc.) ainsi que les voies de dégradation de ces substances lors de l'utilisation du produit ou du traitement des déchets. Un exemple de quantification a toutefois été réalisé dans le cadre de cette étude, à partir de plusieurs hypothèses simplificatrices : cas des phtalates dans les emballages plastiques en PVC en France.

Concernant l'identification d'autres catégories de substances, la recherche prospective s'est heurtée au manque de connaissances disponibles dans le domaine des déchets. Les programmes de recherche relatifs aux substances émergentes visent en effet principalement les matrices liquides. Plusieurs substances émergentes ont cependant été identifiées comme polluants potentiels pouvant être contenus dans les déchets. Parmi ces déchets, certains font l'objet de procédures de collecte et de traitement déjà organisées comme dans le cas des solvants, pesticides et résidus médicamenteux.

Pour compléter les informations disponibles, des efforts de R&D devraient être entrepris, de manière plus ou moins approfondie pour chaque type de substance considérée afin de :

- améliorer le traçage de ces substances dans les articles pour quantifier leur présence dans les déchets ;
- développer des méthodes d'échantillonnage et de quantification pour ces substances dans la matrice déchets et les résidus de traitement correspondants (lixiviats, boues de STEP, etc.) ;
- identifier les effets toxiques potentiels des déchets souillés ;
- évaluer comment les polluants émergents interagissent et affectent la matrice déchet ;
- définir le devenir des substances durant les processus de traitement des déchets, de manière à assurer un traitement adapté et éventuellement une séparation à la source ;
- établir finalement des recommandations pour la manutention et le traitement de ces déchets.

Le Tableau 3 présente plusieurs axes de recherche qu'il semble particulièrement pertinent de développer, concernant la présence de polluants émergents dans les déchets, ainsi que les programmes en cours associés et identifiés dans le cadre de cette étude.

Tableau 3 : Axes de recherche relatifs à la présence de polluants émergents dans les déchets.

| Piste de R&D | Programmes en cours |
|---|--|
| Nanomatériaux | |
| Traçabilité des nanodéchets | |
| Risques liés au transport/ manutention des nanodéchets | |
| Prétraitement sur place des nanodéchets par frittage | |
| Impact des NP dans les déchets sur les procédés de recyclage et sur la qualité des matériaux recyclés | Nanosustain WP5 : comportement de NP de ZnO associées à du verre lors du recyclage. |
| Devenir des NP lors de l'incinération | Nanosustain WP5 : comportement et relargage de NTC lors de l'incinération de composites époxy-NTC. InnanoDep : dégagement de NP lors de l'incinération de nanomatériaux manufacturés. NanoFlueGas : émissions particulières issues de l'incinération des déchets contenant des nanomatériaux. |
| Relargage potentiel de NP stockées en ISDND : - impact des conditions environnementales - diffusion à travers les membranes de fond | Nanosustain WP5 : Détermination de méthodes pour évaluer le relargage potentiel de NP stockées en ISDND. |
| Biodégradabilité des NP en compostage. | Nanosustain WP5 : compostage de la nanocellulose. |
| Traitement en STEP : - Potentiel d'interférence des NP avec les procédés de traitement - Efficacité des procédés de traitement | |
| Micropolluants émergents | |
| Développement de méthodes analytiques pour la mesure dans les matrices environnementales | |
| Connaissance et quantification des PT | |
| Processus de biodégradation en aérobiose (compostage) et anaérobiose (stockage en ISDND) | Lund University : polluants organiques émergents dans les lixiviats. Toxlix : toxicité des lixiviats d'ISDND |
| Micropolluants en STEP : - Potentiel d'interférence des NP avec les procédés de traitement - Efficacité des procédés de traitement | ADEME / INERIS : substances émergentes dans les boues et les composts de boues urbaines ARMISTIQ : micropolluants dans les STEP INERIS / ONEMA : guide de recommandations techniques sur la mesure des micropolluants dans les rejets canalisés. |
| Devenir des additifs lors du recyclage des déchets | Programme Riskcycle (Bilitewski <i>et al.</i> , 2011 & 2012) |
| Pesticides et résidus médicamenteux | |
| Cas des rejets diffus | |
| Contrôle systématique des rejets de RM par les hôpitaux | |

En conclusion, devant les nombreuses questions soulevées par la présence de substances émergentes dans les déchets, l'intérêt de la notion d'écoconception des produits et en particulier de la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie (gestion des déchets compris) ne peut qu'être rappelé, conformément à l'application du principe de précaution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES / REFERENCES

ADEME (2004) *Elimination des déchets générés par les traitements anticancéreux. Bilan des études R & D, Guide et Recommandations. Connaître pour agir*, ADEME éditions.

AFSSET (2010) *Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement*, rapport d'expertise collective, Groupe de Travail « Nanomatériaux - exposition du consommateur et de l'environnement », Saisine n°2008/005, 223p.

AMPERES *Analyse des Micropolluants Prioritaires et Emergents dans les Rejets et les Eaux de Surface*, <https://projetamperes.cemagref.fr/>

Bilitewski B., Grundmann V., Barcelo D. (2011). Environmental and health risks of chemical additives and recycling materials, Sardinia 2011, 13th international waste and landfill symposium, Cagliari, September 2011.

Bilitewski B., Darba R.M., Barcelo D. (2012), Global Risk-Based Management of Chemical Additives I: Production, Usage and Environmental Occurrence, Hdb Env Chem (2012) Vol. 18: 1–8.

Blaser S., Scheringer M., MacLeod M., Hungerbühler K. (2008) *Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles*, Science of the Total Environment, Vol. 390, pp. 396-409.

Boldrin A., Hansen S.F., Baun A., Hartmann N.I.B., Astrup T. (2011) *Nanowaste: business-as-usual or a new challenge for the waste industry?* Sardinia 2011, Cagliari, Italy.

CNDP – Commission Nationale du Débat Public (2010) *Compte Rendu du débat public sur les Nanotechnologies*, Compte rendu établi par le Président de la Commission particulière du débat public, 15 octobre 2009 – 24 février 2010, Avril 2010.

CYCLAMED (2011) Evaluation du gisement de médicaments non utilisés des ménages français, Avril 2011.

Dobhoff-Dier O., Bachmayer H., Bennett A., Brunius G., Cantley M., Collins C., Collard J-M., Crooy P., Elmqvist A., Frontali-Botti C., Gassen H.G., Havenaar R., Haymerle H., Lamy D., Lex M., Mahler J.L., Martinez L., Mosgaard C., Olsen L., Pazlarova J., Rudan F., Sarvas M., Stepankova H., Tzotzos G., Wagner K., Werner R. (2000) *Safe biotechnology 10: DNA content of biotechnological process waste*, The Safety in Biotechnology Working Party of the European Federation of Biotechnology, Tibtech April 2000 (Vol. 18).

Fortner J. D., Lyon D. Y., Sayes C. M., Boyd A. M., Faulkner J., Tao Y. J., Guo W., Ausman K. D., Colvin V., Hughes J. B. (2005) *C60 in Water: Nanocrystal Formation and Microbial Response*, Environmental Science and Technology, Vol. 39, pp. 4307-4316.

Gottschalk F., Sonderer T., Ort C., Scholz R., Nowack B. (2010a) *Modeled Environmental Concentrations of Engineered Nanomaterials (ENM) for different regions and at different resolutions*, Engineered nanoparticles in the environment - Analysis, Occurrence and Impacts, NORMAN WORKSHOP 19-20 October 2010, Germany.

Gottschalk F., Scholz R. W., Nowack B. (2010b) *Probabilistic material flow modeling for assessing the environmental exposure to compounds: Methodology and an application to engineered nano-TiO₂ particles*, Environmental Modeling and Software Vol. 25, N°3, pp. 320-332.

Gottschalk F., Sonderer T., Scholz R.W., Nowack B. (2009) *Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, fullerenes) for different regions*, Environmental Science and Technology, Vol. 43, pp. 9216–9222.

Grunwald A. (2008) *Nanoparticles: Risk Management and the Precautionary Principle*, F. Jotterand (ed.) Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology, Springer Science Business Media.

INERIS, www.ineris.fr, consulté mai 2011

Kirilenko A., Stepchenkova S., Romsdahl R., Mattis K. (2010) *Computer-assisted analysis of public discourse: a case study of the precautionary principle in the US and UK press*, Qual. Quant., Springer Science Business Media.

Lenoir D., Wehrmeier A., Sidhu S.S., Taylor P.H. (2001) *Formation and inhibition of chloroaromatic micropollutants formed in incineration processes*. Chemosphere, Vol. 43, pp.107–114.

Mackay C.E., Johns M., Salatas J.H., Bessinger B., Perri M. (2006) *Stochastic probability modeling to predict the environmental stability of nanoparticles in aqueous suspension*, Integrated Environmental Assessment and Management, Vol. 2, pp. 293-298.

Murray D., Meidinger R., Golovan S., Phillips J., O'Halloran I., Fan M., Hacker R., Forsberg C. (2007) *Transgene and mitochondrial DNA are indicators of efficient composting of transgenic pig carcasses*, Bioresource Technology, Vol. 98, pp. 1795–1804.

Nanosafe (2008a) *Safe production and use of nanomaterial – First results for safe procedures for handling nanoparticles*, 8p, www.nanosafe.org

Nanosafe (2008b) *Are conventional protective devices such as fibrous filter media, cartridges for respirator, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols?*, Dissemination report DR-325/326 200801-1

NanoSustain (2012) 6th NanoSustain Newsletter, February 2012, www.nanosustain.eu, 12p.

OFEV (2010) Groupe de travail "Élimination des nanodéchets", Document de travail : *Élimination sûre et respectueuse de l'environnement des déchets provenant de la fabrication ainsi que de la transformation industrielle ou artisanale des nanomatériaux synthétiques*, Version pour un test pratique, Septembre 2010.

ONEMA, INERIS (2009) *Les Substances Emergentes Dans L'environnement - Note de synthèse sur l'état de l'art concernant les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les produits d'hygiène corporelle*, Convention de partenariat ONEMA-INERIS 2008, Octobre 2009

ORDIMIP (2009a) *Les nanoparticules dans les déchets : un chantier à ouvrir « Le savoir : un préalable à la gestion »*, Octobre 2009, 27p.

ORDIMIP (2009b) *COMPTE RENDU - Déchets des nanotechnologies*, 21 Janvier 2009.

Poté J., Ceccherini M.T., Rosselli W., Wildi W., Simonet P., Vogel T. (2010) *Leaching and transformability of transgenic DNA in unsaturated soil columns*, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 73, pp. 67–72.

RSRAE (Royal Society and Royal Academy of Engineering) (2004) *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, 127p,

<http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>

Sidhu S., Gullett B., Striebich R., Klosterman J., Contreras J., DeVito M. (2005) *Endocrine disrupting chemical emissions from combustion sources: diesel particulate emissions and domestic waste open burn emissions*, Atmospheric Environment, Vol. 39, pp. 801–811.

Söderström G. (2003) *On the combustion and photolytic degradation products of some brominated flame retardants*, University of Amsterdam, The Netherlands, 64p.

WHO (1999a) *Safe Management of Wastes from Health-Care Activities*, WHO – Geneva, 228p.

WHO (1999b) *Principes directeurs pour l'élimination sans risques des produits pharmaceutiques non utilisés pendant et après les situations d'urgence*, WHO/EDM/PAR/99.2

Annexe 1 : Liste de substances citées dans la présence étude

Le Tableau 3 liste les substances citées dans le cadre de cette étude par type d'article. Il convient de préciser qu'il ne s'agit en aucun cas d'une liste exhaustive, que ce soit en termes de type de déchet considéré ou de substances potentiellement présentes par type de déchet. Par ailleurs, les informations collectées sur la dangerosité des substances ou les concentrations dans les déchets étant inexistantes ou partielles, elles n'ont pas été reprises ici et la liste est à ce jour uniquement qualitative.

Tableau 3 : Liste de substances citées dans le document RECORD par catégorie d'article.

| Article | Catégories de substances | Substances potentiellement présentes |
|------------------------|--|--|
| Articles en plastiques | Métaux | Plomb |
| | Phtalates | Diethyl phthalate (DEP) Dibutyl phthalate (DBP) Butyl benzyl phthalate (BBP) Diethylhexyl phthalate (DEHP) Dimethyl phthalate (DMP) Bis(2-methoxyethyl)phthalate (DEMP) Diisononylphthalate (DINP) Diisodecylphthalate (DIDP) |
| | Retardateurs de flamme | Polybrominated diphenylethers (PBDE) Tetrabromobisphenol-A (TBBP-A) Hexabromocyclododecane (HBCD) Organophosphates |
| | Nanoparticules | NanoTube de Carbone (NTC) Nano Ag |
| | Bisphénols | BPA BPS |
| | Alkylphénols | Nonylphenol Nonylphenol etoxylate Octylphenol Octylphenol etoxylate |
| | Plastifiants sulfonamides (LAS : Linear Alkylbenzene Sulfonates) | Nbutylbenzenesulfonamide (NBBS) |
| | Composés organostanniques | Tributyltin(TBT) Triphenyltin(TPT) Tributylstannane |
| | Filtres UV | Benzophénones |
| | Oxydes de diphenyl | PentaPBDE OctaBDE |
| | Amide | Dimethylacetamide (DMAC) |
| | Amine aromatique | 2,2'-Dichloro-4,4'-methylenedianiline, 4,4'-Diamino-3,3'-dichlorodiphenylmethane (MOCA) |
| | Chloroalcanes | |
| Textile | Nanoparticules (forme liée, tissée ou libre) | Nano Ag NP semi-conductrices (ZnO, TiO ₂ , NTC) |
| | Retardateurs de flamme | Non halogénés Halogénés (PBDE, HBCD) Mélamine |
| | Composés perfluorés | PFOS / PFOA |
| | Triclosan | |
| | Chloroalcanes | |
| | Oxydes de diphenyl | PentaPBDE OctaBDE |

| Article | Catégories de substances | Substances potentiellement présentes |
|---|---------------------------------|--|
| Déchets construction/démolition | Retardateurs de flamme | |
| Articles en cuir | Chlorophénols | Pentachlorophenol |
| | | (Benzothiazol-2-ylthio) methyl thiocyanate (TCMTB) |
| DEEE | Retardateurs de flamme | PBDE (2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl éther 2,2',4,4',5-Pentabromodiphenyl éther 2,2',4,4',6-Pentabromodiphenyl éther Decabromodiphenyl ether) HBCD |
| | Bisphénols | BPA |
| | Composés perfluorés (PFOS/PFOA) | |
| | Amide | Dimethylacetamide (DMAC) |
| | Métaux | Plomb Mercure |
| | Plastifiants | Phosphate de triphényle |
| Pneus | Nanoparticules | Silice Noir de carbone |
| Bois | Phénols | |
| Peinture | Ethers de glycol | Ethylène, Propylène |
| | Solvants chlorés | 1,2-dichloroéthane |
| | Alkylphénols | Octylphénol |
| | Chloroalcanes | |
| | Nanoparticules | |
| | Composés organostanniques | Tributyltin(TBT) Triphenyltin(TPT) |
| Ampoules à basse consommation | Métaux | Mercure |
| Papier | Phtalate | Dibutyl phthalate (DBE) |
| | Bisphénols | BPA |
| | Isothiazolinones (biocides) | 5-Chloro-2-methyl-isothiazolin-3-one (CMI) 2-Methyl-2-isothiazolin-3-one (MI) |
| | Composés perfluorés (PFOS/PFOA) | |
| Ciment | Nanoparticules | Nano silice Nanotubes de carbone (NTC) |
| Verre | Nanoparticules | Nano ZnO |
| Caoutchouc | Chloroalcanes | |
| | Benzophénones (filtres UV) | |
| Véhicules | Retardateurs de flamme | Retardateurs de flamme halogénés Mélamine |
| Cosmétiques – produits de soin corporels | Parabènes | |
| | Filtres UV (Benzophenones) | |
| | Nanoparticules | TiO ₂ |
| | Composés perfluorés | PFOS / PFOA |
| | Antiseptiques | |
| | Fragrances musquées | |

Annexe 2 : Liste de substances citées dans le doc ECHA/REACH : substances de la liste candidate présents dans des articles de consommation

L'ECHA a publié le 5/03/2012 une liste de substances très préoccupantes (SVHC : substances of Very High Concern incluses dans la liste candidate) contenues dans des articles disponibles pour le consommateur sur le marché européen. Ces données publiées sont basées sur :

- les notifications que les entreprises ont soumises à l'ECHA (présence de la substance considérée dans un article à une concentration supérieure 0,1 % en poids et pour des productions supérieures à une tonne par an) ;
- les informations contenues dans les dossiers d'enregistrement de la substance considérée.

Tableau 4 : Liste de substances très préoccupantes (SVHC) citées par l'ECHA dans des articles de consommation (d'après ECHA, 2012).

| Article | Catégorie de substance citée | Substance citée |
|--|--------------------------------|---|
| Articles en plastiques | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Hexabromocyclododecane (HBCDD) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate Benzyl butyl phthalate (BBP) |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté |
| | Plomb | Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) 1-Methyl-2-pyrrolidone |
| | Chloroalcanes | Chloroalcanes à chaîne courte C10-C13 |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate |
| Textile | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Hexabromocyclododecane (HBCDD) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Chloroalcanes | Chloroalcanes à chaîne courte C10-C13 |
| | Dichromate de sodium | |
| Articles en cuir | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Chloroalcanes | Chloroalcanes à chaîne courte C10-C13 |
| Piles et batteries | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Hexabromocyclododecane (HBCDD) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Chloroalcanes | Chloroalcanes à chaîne courte C10-C13 |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) sulphate Cobalt(II) dinitrate |
| Machinerie, appareils mécaniques, appareils électriques/électroniques | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Hexabromocyclododecane (HBCDD) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate |
| | Fibres céramiques réfractaires | Aluminosilicate |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Chloroalcanes | Chloroalcanes à chaîne courte C10-C13 |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate Cobalt(II) sulphate Cobalt(II) carbonate Cobalt dichloride |

| Article | Catégorie de substance citée | Substance citée |
|---|--|---|
| Bois | Phtalates | Diisobutyl phthalate Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) |
| Papier | Phtalates | Dibutyl phthalate (DBP) |
| | Composés borés | Acide borique |
| Articles en verre et céramique | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté |
| Articles métalliques | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate Tris(2-chloroethyl)phosphate |
| | Composés borés | Acide borique |
| | Tris(2-chloroethyl)phosphate | |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) |
| | Dichromate de sodium Strontium chromate | |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate Cobalt(II) sulphate Cobalt(II) carbonate Cobalt dichloride |
| Articles en caoutchouc | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Hexabromocyclododecane (HBCDD) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate Benzyl butyl phthalate (BBP) |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Chloroalcane | Chloroalcane à chaîne courte C10-C13 |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate |
| Véhicules | Phtalates | Bis (2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) Dibutyl phthalate (DBP) Diisobutyl phthalate |
| | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté Acide borique |
| | Fibres céramiques réfractaires | Aluminosilicate |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow (C.I. Pigment Yellow 34) Lead chromate molybdate sulphate red (C.I. Pigment Red 104) |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate |
| | Dichromate de sodium Strontium chromate | |
| Ciment, plâtre, articles en verre et céramique | Fibres céramiques réfractaires | Aluminosilicate |
| | Phtalates | Tris(2-chloroethyl)phosphate |
| | Composés borés | Acide borique |
| | Tris(2-chloroethyl)phosphate | |
| | Plomb | Lead sulfochromate yellow Lead chromate molybdate sulphate red |
| | Composés du cobalt | Cobalt(II) diacetate Cobalt(II) sulphate Cobalt(II) carbonate Cobalt dichloride |
| Matériaux en contact avec la nourriture (ex : verres, tasses...) | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté |
| Papier photo | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté |
| Absorbants d'encre usagée | Composés borés | Tetraborate de disodium, déshydraté |

I. FOREWORD

I.1. Scientific background

The evolution of the patterns of production and consumption leads to the presence in life-ending products, and therefore in waste, of new substances that may engender sanitary and environmental risks, different from those considered until then. Considering this, the RECORD association decided to lead a detailed study on the new substances that can be found in waste, at the various steps of their treatment or recovery.

The majority of monitoring programmes are based on regulated substances, that are either persistent, bioaccumulative and/or inherently toxic. However, at the moment questions rise on the potential impacts of other substances, not necessarily new on the market, but not regulated until today: emerging substances. They are substances which are detected in the environment, but are not included yet in monitoring programmes and whose behaviour, fate and (eco) toxicological effects are not well understood. Those emerging substances are not the subject of a general definition and there is no exhaustive list of compounds contained within this term.

The notion of emerging pollutant must be defined according to the target media. Thus, in the specific case of waste, some substances can present sanitary and environmental risks (risks for waste industry workers or risks of release to the environment) or for the treatment processes themselves (risks of inhibition or interference with the processes). Those emerging substances may be:

- new substances and thus in particular, some emerging substances detected in the environment (e.g.: nanoparticles or emerging micropollutants);
- already identified substances considered as risky and whose use in items is prohibited in France, but which may be present in old products waste or in import products waste from countries with no regulation for these substances;
- already relatively known substances but whose recent use in new articles can cause problems as for their future treatment as waste (e.g.: case of mercury in low consumption light-bulbs).

I.2. Media and societal background

As part of this study, a survey with journalists specialised in the environment and environmental and consumer's protection associations was realized to estimate the media and societal context of occurrence of this problematic. The first questions raised on the presence of new polluting substances in waste emerged from scientific research. But as newspapers specialised in the environment took back the subject, it opened to a wider and more sensitive public. This greater interest led later on the less-specialized media to feed the debate on this question and therefore enabled to target, each time, a wider public, requesting information. While media are important in the revelation of societal issues, associations play the predominant role of alerting. Furthermore, the implementation of new regulations taking into account the progress achieved in terms of knowledge of substances or even the elaboration of studies by safety sanitary agencies are useful to reopen the debates, to structure questionings and knowledge but at the same time, they nourish the fears of the citizens.

Regarding the contents of most of the consulted articles in specialised publications, the majority of followed themes at the moment deal with food contamination (e.g.: by residues of pesticides) or daily consumption items (e.g.: additives in feeding-bottles) which directly affect the users' health. However, it is the issue of drinking water quality that is predominant, as it establishes a link between the use and fate of consumer products and the substances they contain, once as waste. Especially, waste treatment efficiency (wastewater and landfill leachate) is questioned, mainly regarding products having a dedicated waste treatment process, as in the case of pharmaceutical residues or pesticides. Consequently, even if waste management implies several actors (among which the users who can take part in specific sorting), it seems that in case of a failure, the public turns more easily to public authorities and/or companies in charge of the treatment, considered not vigilant enough for them.

All this lead to a bigger distrust with regard to the treatment of waste containing new substances still at an experimental stage (e.g.: GMOs) or at a recent stage of marketing (e.g.: nanotechnologies). Indeed, the public perceives the value of these new technologies but is more and more aware of the fact that all these products and their elimination can have fatal consequences on the environment (Grunwald, 2008), especially as the life cycle of a product is a concept which is better and better known and disclosed. As an example, during the recent French national debate on nanotechnologies the issue of nanoproducts life cycle was raised by the audience (CNDP, 2010). At last, contrary to the United States where GMOs and nanotechnologies are quite well accepted, the Europeans favour the application of the precautionary principle (moratoria and limitations case by case), considered as a threat for the economy by the Americans (Kirilenko and al ., 2010).

I.3. Scope of the study

The first goal of this study is to provide answers as for the presence of new substances within waste, as its impact on waste management and on the risks which they may generate for the human health and the environment. This study is divided in two main parts:

- an analysis of already documented situations: from a pre - established list of substances (Table 1), a literature review and experts interviews enabled to estimate the available information and level of knowledge as for the presence of these new pollutants in waste.
- a prospective research focusing on new substances little or not documented, but susceptible to be found in waste: this phase is mainly based on interviews with various actors and targeted experts.

II. Literature review

II.1. Methodology of the literature review

This literature review was performed based on a search by substance and not by type of waste or treatment process. Indeed, a search by waste type requires knowing the specific composition for each category of article (plastic materials, textile waste, household waste...) but this information is not available (great variety of articles and industrial secret). On the other hand, several studies concerning the waste treatment processes have been realized, but the efficiency of a specific treatment depends on the considered type of substance. The bibliographical exhaustiveness being out of reach due to the large number of emerging substances, the substances with the widest spectre of use and susceptible to be found in great quantities in waste were retained within the framework of this study and classified in large categories.

Table 5: Substances retained in the framework of this study.

| Category | Sub-category |
|----------------------------|--|
| Manufactured nanomaterials | - |
| Emerging micropollutants | Pesticides* |
| | Pharmaceutical residues* |
| | Others : Additives for plastic, surfactants, body care products, antiseptic products, flame retardant... |
| GMOs | - |

* Substance for which the waste containing them is the object of a specific collection in France.

II.2. Key knowledge on nanomaterial

The use of engineered nanomaterials (NMs) in commercially-available products is increasing exponentially. The question of associated nanowaste (waste stemming from the manufacturing of NM, life-ending products containing NM but also residues of NM in suspension in waste water) is therefore a burning issue.

There is no official definition of nanowaste in the current regulatory frameworks relative to waste. Within the framework of this study, a definition is retained which distinguishes waste of production / refusal of manufacturing (called manufactured nanowaste) from life-ending products containing nanomaterials (Boldrin and al., 2011).

Table 6: Types and sources of nanowaste.

| Type de nanowaste | | Sources |
|---|---|--|
| Manufactured nanowaste | Pure nanomaterial waste | Refusal of manufacturing and waste of production from the manufactured industry of nanomaterials |
| | Soiled objects by nanomaterials (containers, cloth or disposable IPE) | Manufactured industry of nanomaterials |
| | Liquid suspensions of nanomaterials | Industrial effluents Research laboratories effluents Domestic effluents |
| | Residues from research | Research laboratories |
| Life-ending products containing nanomaterials | | Household waste, non-hazardous industrial waste |

Their properties and especially their toxicity depend on the type of considered NM. The location of the nano-element in the waste and the visible or expected macro-properties of nanowaste are also of importance regarding NM toxicity. Considering the lack of information on this subject, the

precautionary principle in the management of nanowaste is recommended by several organizations (AFFSET, INERIS, RSRAE, OFEV, Nanosafe), but this waste is not regulated in a specific way in France until now and is often found in mixture in traditional collection and treatment processes.

No scientific study was listed concerning the risk assessment linked to the manipulation and transfer of nanowaste. The current recommendations (separation at the source, the identification, the storing in tight containers) are therefore mainly based on the precautionary principle, but are hardly applicable because of the difficulty linked to nanowaste identification. Concerning their fate in the waste treatment facilities, few scientific studies were performed.

- Material recovery: only some NMs (case of golden NM) have a sufficient economic value for recycling. Concerning, on the contrary, the impact of the NM presence within waste on the recycling processes and on the quality of recycled materials (textiles, paper, plastics...), no study was identified.
- On-site pre-treatment: processes are suggested (e.g.: dissolution of metallic nanoparticles (NP) in acid baths, high-temperature sintering) so that nanowaste lose their nanoscopic characteristic at the production place, but their efficiency would deserve to be tested.
- Incineration: while organic NP are supposed to be destroyed during combustion, the fate of mineral and metallic NP raises questions. Combustion tests are required to estimate if the NP which do not melt stay under nanoparticle form or agglomerate by sintering with other particles. In the hypothesis of an agglomeration, the NP would end up in clinkers or would be transported under a "bigger" form towards filters. On the contrary, if the re-agglomeration of the NP does not take place, these would be transported in flue gases and the question of the efficiency of filters is raised.
- Landfilling: a great part of the produced NM may end up in landfills. Yet, questions remain on the interaction of NM with the other waste present, on their potential aggregation in leachate and their distribution through bottom liners. Studies at the laboratory scale showed that fullerenes C60 were toxic for some bacteria in aerobic and anaerobic conditions (Fortner and al., 2005), which could be particularly harmful for biodegradation of waste in non-hazardous landfills. Laboratory tests and modelling are required to estimate the impact of environmental conditions (pH, conductivity, temperature) on the liberation of NP.
- Treatment of liquid effluents: the issue of the impact of NP in WWTP was raised, whether in terms of interference with water treatment process or regarding their fate after treatment and release to the environment. The processes which control the transport and the movement of nanoparticles in water and especially in waste water have been studied, in particular NP photochemistry with the aim of its possible application in water treatment. The main mechanisms that may play a role are: aggregation, transport, deposition, sorption, desorption and adsorption by biomass. The capacity of these processes to immobilize or to destroy NP depends on the chemical and physical nature of these last ones and on the residence time in the treatment process compartments. Flocculation seems to be the most appropriate method to eliminate NP and especially the non-biodegradable ones in aqueous medium (Mackay and al., 2006); complementary trials on the industrial scale are however necessary to confirm the first results obtained in laboratory. Concerning the issue of the interaction of NP with the treatments in WWTP (especially silver NP: inhibition), several contradictory studies were listed, justifying complementary studies.

Concerning the quantification of the streams of nanowaste, several foreign studies were identified (Gottschalk and al., 2009 and 2010; Dull and al., 2008; Boldrin and al., 2011), but due to their delicate comparison (fields of studies and targets considered as different), the extrapolation in the French case is difficult and was not possible to perform within the framework of this study.

II.3. Key knowledge on emerging micropollutants

Emerging micropollutants constitute a family of complex compounds, with various properties and behaviours. Besides, their presence in the environment can give rise to several types of reactions of degradation, leading to the formation or the appearance of transformation products (TP) with new properties.

Few studies have focused on the fate of emerging micropollutants during incineration. The main consequences observed concerning the presence of some of these compounds (BPA, phthalates, flame retardants, etc., with high chlorine levels) during the incineration of household waste are the increase of the rate of formation of dioxins, furans and of chloro-aromatic compounds (Söderström, 2003; Lenoir and al., 2001; Sidhu and al., 2005). Adapted combustion procedures in incinerators can however allow reducing the associated emissions.

On the contrary, numerous studies estimated the fate of several emerging micropollutants within the framework of waste storage. Leaching obviously depends on the type of considered compound and on the environmental conditions. In particular, the presence of organic carbon dissolved in leachates, which depends on the type of landfilled waste and on its level of biodegradation, strongly influences the elution by adsorption and therefore the quantity of leached compounds. Moreover, the processes of biodegradation of these compounds within a landfill cell are not completely known: some studies gave rise to contradictory results. This could be due to analytical difficulties linked to the detection of these compounds and especially their metabolites. Indeed, in the absence of standardized procedures, the employed methods and the researched compounds vary from a study to another, which influences the results.

In a similar way, the presence of emerging micropollutants in waste water and the efficiency of WWTP for their elimination have been widely studied. The main processes which can take place are sorption, stripping (or volatilization) and biological degradation. The observed rates of elimination, variable according to compounds and types of treatment, are relatively high. The advanced processes such as ozonation, filtration on activated charcoal and reverse osmosis, insure a complementary treatment for some compounds generally poorly retained by the biological processes and allow reaching removal performance greater than 70 % (AMPERES). However, because these micropollutants are active at extremely low concentrations (several dozens of ng.L^{-1}), complementary treatments must be considered. Moreover, the issue of the fate of the non-biodegradable fraction and the transfer of pollution must be raised: these substances tend to concentrate in sewage sludge, which can be applied to soils.

II.4. Key knowledge on pesticides

Pesticides have been used for several decades and numerous scientific studies estimated their fate in the environment, water and waste. Besides, the management of waste containing pesticides is regulated in France and is the object of a specific collection, which allows an adapted treatment.

However, diffuse releases of pesticides residues remain and the residual presence of pesticides or of TP in the WWTP and landfill leachates seems to be the major issue. As for all the emerging micropollutants, this identification involves the implementation of quantification methods which are able to determine a wide spectre of compounds (similar substances and TP). Many of the publications related to the treatment of pesticides residues are indeed relatively old (1970-1990) and complementary searches could be performed, in particular with the evolution of the knowledge on the TP of pesticides and the general analytical progress.

II.5. Key knowledge on medical residues

As for pesticides, waste containing pharmaceutical residues (PR) possesses a specific network of collection and treatment. At present, incineration of waste containing PR remains the most used treatment. Pollutants produced during combustion are considered to be similar to those produced during combustion of domestic waste. Nevertheless, there is no estimated data on the overall emissions; only partial studies on the emissions of gaseous effluents were performed for medical waste. However, for cytostatic drugs, a study showed that the addition of anticancer medicines waste in incinerators did not modify neither the chemical composition of gaseous and particulate emissions nor the mutagens and genotoxic properties of residual clinkers (ADEME, 2004). However, these studies only concern waste contaminated by anticancer medicines; they do not support the argument that concentrated cytostatic products (medicines before reconstruction, out-of-date medicines) will be effectively eliminated and, in the absence of complementary studies, the recommendation of the WHO to incinerate anticancer drugs beyond 1000°C to 1200°C allows to comply with the precautionary principle (WHO, 1999).

It is estimated that until today only half of the unused drugs is collected in France (CYLAMED, 2011); the unused drugs which are not collected specifically are mainly eliminated in domestic effluents or in domestic trash cans and are therefore treated either in WWTP with urban effluents, in incineration units or also in non-hazardous landfills by mixture with domestic waste. Besides, another source of unused drugs in more or less concentrated quantities is constituted of the effluents of drugs manufactory industries (pharmaceutical laboratories, chemical industry). Indeed, the releases monitoring for the rejections imposed by the regulation in France does not take into account a systematic and specific research for possible drug residues, as these substances are not classified as priority. Drug residues in minor quantities are also present in urban, hospitals and breeding effluents, eliminated by urinary or dermic way. WWTP effluents are therefore considered as the main source of introduction of pharmaceutical residues in the environment, whether under the form of raw active substance or TP.

Information on the efficiencies of treatment in WWTP exist but is rare and strongly depends on the considered substances, on the types of equipment, on local conditions as well as on analytical procedures (which substances and researched TP). The quantification of drug residues in waste and in WWTP releases requires the knowledge of a large amount of source data, proper to each substance: type of use and galenic shape of the medicine, specific rate of collection, type of WWTP, elimination rate, etc.

The main risk of contamination due to the landfilling of waste containing PR is linked to the leaching of these compounds and to their accumulation in leachate (which are later on treated on-site or in WWTP). The research for PR in landfill leachate and in underground waters has been the aim of recent studies, which revealed the presence of several PR and their TP.

II.6. Key knowledge on GMOs in waste

The amount of waste containing GMOs in France remain limited until today. The main risk raised is the one of horizontal transfer of genes but this mechanism has not been observed until now; complementary studies would be necessary to evaluate it.

Laboratory waste containing residues of GMOs is either autoclaved before disposal, or treated with health waste and incinerated. Contrary to the incineration, the autoclaving does not completely destroy the DNA and the risk of horizontal transfer is possible (Dobhoff-Dier and al., 2000).

Concerning vegetal GMOs waste from full field trials, the current practice consists in leaving them on the field at the end of the trials, which does not destroy the DNA (Poté and al., 2010). Composting seems to be a more secure process for the treatment of waste containing GMOs because it allows reducing the genetic material to a level for which the genes are not detectable (Murray and al. 2007).

III. Prospective study

III.1. Methodology of the prospective study

This prospective phase aimed at identifying new polluting substances in waste. The relatively wide field of study (great variety of materials and substances considered) required to question a large panel of experts belonging to different fields of activity (waste treatment, environmental and sanitary risk management, toxicology, emerging pollutants or specific substances: nanomaterial, pesticides, pharmaceutical residues, genetic engineering), with a survey however unique, to allow the intercomparison of the results.

Various experts have been consulted (researchers, industrials, association spokesmen). A relatively low participation was however obtained, which can be partially justified by the lack of available knowledge concerning waste. Indeed, most of the studies and the research programs regarding emerging pollutants focus on aqueous media and little information is available on waste (except for liquid effluents and sewage sludge). The survey addressed the following issues, for each substance / group of substances considered:

- expected evolution of waste streams,
- nature of the expected risk as for their presence in waste,
- probability of presence in the main waste treatment processes,
- severity level of their presence in the waste treatment processes,
- level of complexity anticipated with regard to the waste treatment ,
- possibilities of replacement by other substances.

To complete the information obtained within the framework of the survey, a crossing of information relative to emerging pollutants in general (in the environment and not only for the matrix waste) was made.

III.2. Key results of the prospective study

Several pollutants were quoted by the experts who took part in the survey. It should be noted that these pollutants were mentioned as examples, and it was specified that it was not, in any case, an exhaustive or even a priority list (quantitatively or toxicologically speaking). Few experts expressed themselves as for the severity level linked to the presence of these pollutants in the various waste treatment processes and the level of complexity of the necessary treatment. The pollutants mentioned concern every types of waste (domestic waste as diffuse releases and industrial waste in more concentrated releases).

Among all the identified substances within the framework of this prospective study, many belong to already mentioned categories (nanomaterial and emerging micropollutants), but the advantage of this phase was to bring to light some substances within these large categories.

Concerning the mentioned quoted emerging micropollutants, they are especially present in liquid effluents and sludge and consequently mainly expected in WWTP. They can be organized according to the following classification:

- substances identified beforehand within the framework of this study;
- substances whose production is forbidden in France and which are not found as manufacturing waste, but which can be present in waste (import, life-ending products) or the residues of treatment units (WWTP sludge, leachates) and whose impact on the management of waste is not completely known yet;
- substances for which little information exist as for their treatment in waste. Within this category, several families of substances were identified, who can be ordered according to two main applications:
 - o intermediaries of reaction in the chemical industry (alkyl phenols, benzenes and derivatives, chlorinated solvents) who will mainly be present in industrial effluents (and therefore not as solid waste);
 - o additives for diverse types of products such as plastics, rubber, papers, textiles (PFOS, diphenyl oxides, phthalates, chloroalkanes, etc.). These compounds may be present in solid waste, in aqueous rejections and the in WWTP sludge. It is mainly a diffuse stream (presence in particular in domestic waste).

Besides, information on current or future R&D programmes was collected. Several projects linked to the impact of nanoparticles in waste and to emerging micropollutants were identified. While the studies relative to NP are being launched, the projects concerning micropollutants are moving forward, especially as regards to their presence in WWTP. The issue of the risk connected to waste recycling containing micropollutants (e.g.: additives in plastic, textiles, paper, etc.) also begins to be taken into account: the issue of the contamination of recycled materials by waste containing additives and the accumulation of these additives in a circular economy are raised.

Eventually, to complete the information gathered within the framework of the survey, a lists' crossing of emerging pollutants established by various groups of experts and for various matrices was realized. A total of 10 National and European lists have thus been compared, so as to identify pollutants most frequently mentioned. As well as for the outcomes of the survey, it is mainly micropollutants that can be easily found in liquid matrices and thus may be mainly present in the industrial or domestic liquid effluents and WWTP sludge.

While this study was conducted by type of substance or category of substances, the knowledge of substances potentially present by type of waste is relevant for the management of this waste: anticipation and control of the environmental and sanitary risks connected to their treatment, management of the possible interferences with classic treatment processes and implementation of appropriate processes. A synthesis of the gathered information within the framework of this report regarding the potential presence of emerging substances in waste was thus presented (Annex 1, table 5). This list, which is not exhaustive and mainly indicative, whether in terms of type of waste considered or substances potentially present by type of waste, requires to be validated and completed by quantitative data (quantities of present pollutants by type of waste) and ecotoxicologic data. The data collected by the risk assessment committee of the ECHA, within the framework of the REACH procedure, will contribute to complete this information. Moreover, the recent publication by the ECHA of a list of consumer goods containing substances of very high concern completes this list with additional substances (some substances are quoted in both lists, it is the case in particular of phthalates) and indications as for their toxicity and their concentration (minimum threshold: concentration in the article superior to 0.1 % in mass) (Annex 1, table 6).

IV. Conclusions and perspectives of complementary research

Few scientific studies have been conducted to estimate the presence of emerging substances in waste. Except for pesticides and pharmaceutical waste, waste polluted by these emerging substances enters the conventional treatment schemes in France. For the NM, considering the lack of information, the precautionary principle is recommended in the management of nanowaste, but in France this waste is not regulated until today, and it can often be found in mixture in the traditional collection network and treatment processes. It is also the case for emerging micropollutants which constitute a family of complex compounds that can give rise to several types of reactions of degradation and to the formation of TP with new properties. On the contrary, for GMOs, the amount of waste remains limited. Considering the fact that they are only used, until today, in laboratories or more rarely in field trials.

The treatment processes susceptible to receive polluted waste include:

- **recycling** which raises the problem of the recirculation of products containing polluting substances, and their possible accumulation during the various cycles and of the contamination of other recycled products within the treatment scheme;
- **organic recovery** for which the quality of obtained composts is questioned, mainly if it is about contaminated WWTP sludge but also about the presence of pollutants in the organic fraction of domestic waste;
- **incineration**, which is recommended for the management of dedicated treatment processes such as those of phytopharmaceutical products or unused medicine but for which complementary studies are necessary; in particular, it is mainly the NP that raise questions as for the efficiency of the purification of flue gases with regard to these substances of a new size;
- **landfilling**, whose complex degradation mechanisms (temperature, pH, type of waste, etc.) makes it difficult to anticipate the behaviour for some of the substances;
- **treatment** in WWTP, which seems to be a key issue in the waste treatment scheme for these emerging substances (treatment of the landfill leachate, industrial and urban waste more or less loaded by the diffuse rejections of micropollutants, etc.).

The specific question of diffuse releases seems to be particularly problematic: although pollutants are present in less concentrated quantities than in industrial releases, for example, their consideration/inclusion is important because of their continuous (pseudo-persistence) release and of the great variety of pollutants present in consumer products.

For these new substances, analytical problems were listed as for the evaluation of their presence in waste and/or in the residues of waste treatment. The NP with specific physical properties are not adapted to the current detection means in environmental media (solid waste, leachate, WWTP sludge). As for emerging micropollutants, they constitute a family of complex compounds, with numerous transformation products, whose knowledge and quantification are, until today, not exhaustive.

The quantification of waste streams involved or of residual pollutants in waste is also complex since it requires knowing the initial concentrations in the various applications (which are often numerous: the case of phthalates in textiles, plastics, papers, etc.) as well as the degradation pathways of these substances when using the product or treating it as waste. However, an example of quantification was accomplished within the framework of this study: the case of phthalates in PVC plastic packaging treated as waste in France.

Concerning the identification of other categories of substances, the prospective research faced the lack of available knowledge in the field of waste. Research programmes related to emerging substances focus indeed mainly on liquid matrices. However, several emerging substances were identified as potential pollutants which may be contained in waste. Among this waste, some are the object of collection and treatment procedures already organized as in the case of solvents, pesticides and pharmaceutical residues.

In order to complete the available information, research efforts should be undertaken in a more or less deepened way for each type of considered substance, so as to:

- improve the tracking of these substances in products to quantify their presence in waste (report on amounts, labelling);
- develop sampling and quantification methods/procedures in waste and in the residues of treatment (leachate, WWTP sludge, etc.);
- identify the potential toxic effects of soiled waste to ensure proper treatment and eventual source separation;
- estimate how emerging pollutants interact and affect the matrix waste;
- define the fate of these substances during and after waste treatment and disposal;
- finally establish guidelines for the handling, treatment and disposal of this waste.

Table 3 presents several research directions to be developed or under development for nanomaterial and emerging micropollutants.

Table 3: Research directions regarding emerging pollutants in waste.

| Research directions | Programmes under development |
|---|--|
| Nanomaterial | |
| Traceability of nanowaste | |
| Risks linked to transport and handling of nanowaste | |
| Pre-treatment on the premises of nanowaste by sintering | |
| Impact of NP in waste on the processes of recycling and on the quality of recycled materials | Nanosustain WP5: behaviour of NP of ZnO associated to glass during recycling. |
| Fate of NP during combustion | Nanosustain WP5: behaviour and release of NTC during the incineration of epoxy-NTC composites. InnanoDep: release of NP during the incineration of manufactured nanomaterial. NanoFlueGas: specific emissions from the incineration of waste containing nanomaterial. |
| Potential release of landfilled NP: - impact of environmental conditions (pH, conductivity, temperature...) - distribution through bottom membranes | Nanosustain WP5: Determination of methods to estimate the potential release of landfilled NP. |
| Biodegradability of NP during composting. | Nanosustain WP5: biodegradability of nanocellulose in compost. |
| Treatment in sewage : - Potential of interference of NP with treatment processes - Efficiency of treatment processes | |
| Emerging micropollutants | |
| Development of analytical methods for the measurement of environmental matrices | |
| Knowledge and quantification of TP | |
| Process of biodegradation in aerobiose (compost) and anaerobiose (storage in non-hazardous landfills) | Lund University: emerging organic pollutants in leachate. Toxlix : toxicity of leachate of non-hazardous landfills |
| Micropollutants in WWTP sludge : - Potential of interference of NP with treatment processes - Efficiency of treatment processes | ADEME / INERIS : emerging substances in sludge and composts of urban sludge ARMISTIQ : micropollutants in WWTP sludge INERIS / ONEMA: guide of technical recommendations on the measurement of micropollutants in canalized rejections. |
| Fate of additives during waste recycling | Riskcycle (Bilitewski <i>et al.</i> , 2011 & 2012) |
| Pesticides and pharmaceutical residues | |
| The case of diffuse rejections | |
| Systematic control of PR rejections by hospitals | |

Finally, given the many issues raised by the presence of emerging substances in waste, ecologically oriented design and green manufacturing must be considered, in conformity with the application of the precautionary principle. In particular, waste management is a key stage that must be taken into account in life cycle assessment.