

DECHETS CONTENANT DES SUBSTANCES POP
ÉTAT DES LIEUX ET MODES DE GESTION APPLICABLES

RAPPORT FINAL

Mars 2025

**A. CHRETIEN, M. BORIE, J. THIRIET, I. BENNEOUALA, A. DEPROUW,
M. IGHILAHRIZ – In Extenso Innovation Croissance**

In Extenso
INNOVATION CROISSANCE

Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.

Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.

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

Avertissement :

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

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

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

RECORD, Déchets contenant des substances POP : état des lieux et modes de gestion applicables, 2025, 159 p, n°23-0679/1A

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique)
www.ademe.fr

Comité de suivi de l'étude :

Axelle BOURRY - ADEME, Diana Georgiana BRANZEA - ADEME, Isabelle CONCHE - SUEZ, Bénédicte COUFFIGNAL - RECORD, Benjamin DENIS - SECHE ENVIRONNEMENT, Cécile FONTENEAU - INRS, Gabrielle GAUGE - RENAULT, Jean-Philippe JAEG - RECORD/École Nationale Vétérinaire Toulouse, Colin LANG - ADEME, Marie Thérèse LECLERC - INRS, Hubert LEPROND - EDF, Arnaud PARENTY - RECORD/LCT, Annie PERRIER ROSSET - EDF, Myriam RICAUD - INRS, Christophe TONDELIER - VEOLIA

© RECORD, 2025

RESUME

Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances chimiques fortement réglementées à échelle internationale, européenne et nationale depuis le protocole d'Aarhus en 1998. Par leurs utilisations importantes et diverses (pesticides, retardateurs de flamme, plastifiants, etc.) et depuis le début du vingtième siècle, le nombre de substances qualifiées de POP est croissant et l'évolution de la réglementation à leur sujet est de plus en plus stricte. Ainsi, l'identification des produits contenant des POP est particulièrement complexe et d'autant plus difficile à gérer lorsque les produits deviennent des déchets qui entrent dans des filières de traitement. Cette étude vise à mieux connaître les déchets contenant des POP, les réglementations qui les encadrent ainsi que les enjeux déjà identifiés concernant la gestion des déchets contenant des POP. Elle est menée en trois étapes. Dans un premier temps, l'étude dresse des états de l'art des réglementations sur les POP dans les déchets et des connaissances scientifiques à leur sujet. Puis, dans un deuxième temps, un panorama des déchets contenant des POP est établi pour amener à la réalisation d'une analyse rétrospective et prospective des flux de produits/déchets concernés. La dernière étape de l'étude est dédiée à une réflexion prospective sur les POP encore non réglementés qui pourraient être contenus dans des déchets, et l'identification de bonnes pratiques de gestion des déchets contenant des POP actuels et futurs.

MOTS CLES

POP dans les déchets, substances chimiques, DEEE

SUMMARY

Persistent organic pollutants (POPs) have been heavily regulated at international, European and national levels since the 1998 Aarhus Protocol. Their extensive and diverse uses (pesticides, flame retardants, plasticizers, etc.) since the beginning of the twentieth century, the growing number of substances classified as POPs and the increasingly strict evolution of regulations concerning them, make the identification of products containing POPs particularly complex, and even more difficult to manage when the products become waste entering treatment channels. The aim of this study is to gain a better understanding of POP-containing waste, the regulations governing it, and the issues already identified concerning the management of POP-containing waste. It is carried out in three stages. Firstly, the study reviews the state of the art in terms of regulations on POPs in waste and scientific knowledge on the subject. Secondly, an overview of waste containing POPs is drawn up, leading to a retrospective and prospective analysis of the product/waste flows concerned. The final part of the study is devoted to a prospective analysis of as yet unregulated POPs that could be contained in waste, and the identification of best practices for the management of waste containing current and future POPs.

KEY WORDS

POP, waste, chemicals, WEEE

SOMMAIRE

1	Cadrage de l'étude	11
1.1	Objectifs de l'étude	11
1.2	Périmètres de l'étude	11
1.2.1	Périmètre technique	11
1.2.2	Périmètre thématique	11
1.2.3	Périmètre temporel	11
1.2.4	Périmètre géographique	11
2	État de l'art de la réglementation et des connaissances scientifiques sur les déchets contenant des POP	13
2.1	Présentation des POP et des POP dans les déchets.....	13
2.1.1	Introduction aux POP	13
2.1.2	Les POP dans les produits et déchets	16
2.2	État de l'art de la réglementation	27
2.2.1	Des contextes réglementaires à différentes échelles	27
2.2.2	Des réglementations en constante évolutions qui tendent à se durcir.....	54
2.2.3	Les limites des réglementations en lien avec les déchets et produits contenant des POP	58
2.3	État de l'art des connaissances scientifiques.....	60
2.3.1	Un intérêt relatif des enjeux des POP dans les produits/déchets reflété dans la littérature scientifique analysée	60
2.3.2	Les connaissances et les enjeux des principaux couples POP/produits-déchets étudiés	75
2.3.3	Orientations futures de la recherche	91
3	Inventaire des produits/futurs déchets contenant des POP et analyse des flux	93
3.1	Panorama des produits/futurs déchets contenant des POP	93
3.1.1	Périmètre du panorama et méthodologie employée	93
3.1.2	Présence et teneur des POP dans les déchets.....	99
3.2	Analyse historique et prospective des flux des produits/déchets.....	131
3.2.1	Méthodologie employée	131
3.2.2	Analyse matière des flux des produits/déchets futurs intégrant les POP	132
3.3	Conclusion des travaux menés.....	137
4	Étude prospective sur les POP encore non réglementés et pistes de réflexions pour la gestion des déchets POP.....	139
4.1	Identification des substances candidates pour être prochainement qualifiées de POP et des déchets potentiellement affectés	139
4.1.1	Cadre réglementaire de l'inclusion des POP.....	139
4.1.2	État d'avancement actuel et à venir	142
4.2	Pistes de réflexions sur la gestion des déchets POP.....	145

4.2.1	Constats sur la mise en place des pratiques actuelles de gestion des déchets POP	145
4.2.2	Piste 1 : Optimiser et assurer la traçabilité des substances dans les produits/déchets	147
4.2.3	Piste 2 : Améliorer les procédés de traitement des déchets	149
4.2.4	Piste 3 : Renforcer et assurer la bonne application des réglementations	151
4.2.5	Piste 4 : Réduire le recours aux POP dans les diverses industries	153
4.2.6	Implication des acteurs selon l'ensemble des actions possibles	155
5	Conclusion.....	159

GLOSSAIRE FRANÇAIS / ANGLAIS DES TERMES SPÉCIFIQUES

Abréviations

CE	Commission européenne
CLP	Règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage
CPR	Construction Products Regulation
DDT	dichloro-diphényl-trichloroéthane
DEEE	Déchets Équipements Électriques et Électroniques
DP	déchlorane Plus
ECHA	Agence européenne des produits chimiques
EEE	Équipements Électriques et Électroniques
ESPR	Ecodesign for Sustainable Products Regulation
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques ou PAH en anglais
HBB	Hexabromobiphényle
HBCD	Hexabromocyclododécane
HCB	Hexachlorobenzène
HCH	Hexachlorocyclohexane
LRTAP	Pollution atmosphérique transfrontière à longue distance
MTD	Meilleures techniques disponibles
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est ou Convention OSPAR (OSPAR pour « Oslo - Paris »)
PBB	Polybromobiphényles
PBDD	polybromodibenzo-p-dioxines
PBDE	polybromodiphényléthers
PBDF	polybromodibenzo-furanes
PCB	Polychlorobiphényles
PCCC	paraffines chlorées à chaînes courtes
PCDD	polychlorodibenzo-p-dioxines
PCDF	polychlorodibenzo-p-furanes
PCN	Naphtalènes polychlorés
PFAA	perfluoroalkyl acid ou acide perfluoroalkyle
PFAS	substances polyfluoroalkylées
PFCA	Perfluoroalkyl carboxylic acids ou Acides carboxyliques perfluoroalkyles
PFC	Produits chimiques perfluorés
PFHpA	acide perfluoroheptanoïque
PFOA	acide perfluorooctanoïque
PFOS	sulfonate de perfluorooctane
PFSA	Perfluorosulfonic acids ou Acides perfluorosulfoniques
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POP	Polluants Organiques Persistants
PXB	biphényles polyhalogénés
REACH	Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques — en anglais : Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals —
RFB	Retardateurs de flamme bromés
SGH	Système général harmonisé des Nations unies
SMR	Substances et Matériaux de Récupération
TSCA	Toxic Substances Control Act
UE	Union Européenne
UNECE	Commission Économique des Nations Unies pour l'Europe
UV 328	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-di-tert-pentylphenol
VHU	Véhicules hors d'usage
VLE	Valeurs limites d'émission

Définitions

Convention POP (Convention de Stockholm)	Traité international adopté en 2001 visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre les polluants organiques persistants en restreignant ou interdisant leur production, leur utilisation, et en gérant leurs déchets. La Convention cible spécifiquement certaines substances extrêmement dangereuses reconnues pour leur persistance, leur bioaccumulation, et leur potentiel de transport à longue distance dans l'environnement.
Bioaccumulable	Capacité d'une substance à s'accumuler dans les organismes vivants et à y persister à des concentrations plus élevées que dans l'environnement.
Congénères	En chimie, référence à l'une des nombreuses variantes ou configurations d'une même structure chimique.
Déchet dangereux	Tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/98/ CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Ils sont signalés par un astérisque dans la liste des déchets mentionnée à l'article R. 541-7. ¹
Déchet POP	Tout déchet constitué, contenant ou contaminé par l'une ou plusieurs des substances figurant sur la liste de l'annexe IV du règlement (UE) 2019/1021 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants, et dont la teneur en cette ou ces substances est égale ou supérieure aux limites de concentration fixées par ladite annexe. ²
Déchet contenant des POP	Tout déchet constitué, contenant ou contaminé par l'une ou plusieurs des substances figurant sur la liste de l'annexe IV du règlement (UE) 2019/1021 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants, quelle que soit la teneur en cette ou ces substances.
Écotoxique	Se dit d'une substance qui est toxique pour les organismes vivant dans l'environnement, pouvant causer des dommages à l'écosystème.
Persistant	Qualifie une substance qui reste dans l'environnement pendant une longue période sans se dégrader, s'accumulant ainsi dans la chaîne alimentaire.
Pesticide	Substance ou mélange de substances destinées à prévenir, détruire ou contrôler tout organisme nuisible ou maladie des plantes, utilisé en agriculture ou dans d'autres contextes.
Produit POP	Produit contenant des polluants organiques persistants, substances chimiques résistantes à la dégradation et pouvant s'accumuler dans les chaînes alimentaires.
Produit chimiques industriels	Substances chimiques produites pour des applications industrielles, pouvant inclure des solvants, des plastifiants, et d'autres composés utilisés dans divers processus de fabrication.
Protocole POP (Protocole d'Aarhus sur les Polluants Organiques Persistants)	Accord régional sous la Convention de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), adopté en 1998, qui vise à contrôler, réduire ou éliminer les rejets de polluants organiques persistants. Ce protocole complète la Convention de Stockholm en mettant l'accent sur la réduction des émissions atmosphériques de POP.
Règlement UE 850/2004 (Règlement POP)	Législation de l'Union Européenne qui vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre les polluants organiques persistants, en cohérence avec les obligations de la Convention de Stockholm. Ce règlement, adopté initialement en 2004 et mis à jour depuis, impose des restrictions sur la

¹ [Code de l'environnement Article R541-8](#), Légifrance, 2020

² [Code de l'environnement Article R541-8](#), Légifrance, 2020

	production, la mise sur le marché et l'utilisation de POP, ainsi que sur la gestion et l'élimination des déchets contenant de telles substances.
Règlement UE 2019/1021 (Mise à jour du Règlement POP)	Règlement sur les POP remplaçant celui de 2004 visant à minimiser, ou à éliminer si possible, les rejets de ces substances et à réglementer les déchets qui en contiennent ou qui sont contaminés par elles. Il a été modifié à plusieurs reprises, et plus récemment par le règlement (UE) 2022/2400, qui met à jour les annexes IV et V du règlement.
Source d'émission	Point d'origine ou processus par lequel des polluants sont libérés dans l'environnement, pouvant inclure des installations industrielles, des véhicules, ou des pratiques agricoles.
Sous-produits/contaminants involontaires	Substances nocives produites de manière non intentionnelle lors de processus industriels, de combustion, ou d'autres activités humaines.
Toxique	Se dit d'une substance qui est nuisible ou mortelle pour les organismes vivants lorsqu'elle est ingérée, inhalée ou mise en contact avec la peau.
TEQ Quantité équivalente toxique	Mesure la toxicité d'un ensemble de dioxines différentes en toxicologie et en écotoxicologie.
Usage	Manière dont une substance, un produit ou un équipement est employé ou destiné à être utilisé par les humains, impliquant des aspects tels que l'application, la fonction, ou le but.

Abbreviations

CE	European Commission
CLP	Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labeling, and packaging
CPR	Construction Products Regulation
DDT	Dichloro-diphenyl-trichloroethane
DEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)
DP	Dechlorane Plus
ECHA	European Chemicals Agency
EEE	Electrical and Electronic Equipment
ESPR	Ecodesign for Sustainable Products Regulation
HAP	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)
HBB	Hexabromobiphenyl
HBCD	Hexabromocyclododecane
HCB	Hexachlorobenzene
HCH	Hexachlorocyclohexane
LRTAP	Long-Range Transboundary Air Pollution
MTD	Best Available Techniques (BAT)
OSPAR	Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic OSPAR (OSPAR for « Oslo - Paris »)
PBB	Polybrominated Biphenyls
PBDD	Polybrominated Dibenzodioxins
PBDE	Polybrominated Diphenyl Ethers
PBDF	Polybrominated Dibenzofurans
PCB	Polychlorinated Biphenyls
PCCC	Short-Chain Chlorinated Paraffins
PCDD	Polychlorinated Dibenzodioxins
PCDF	Polychlorinated Dibenzofurans
PCN	Polychlorinated Naphthalenes
PFAA	Perfluoroalkyl Acid
PFAS	Polyfluoroalkyl Substances
PFCA	Per- and Polyfluoroalkyl Substances

PFC	Perfluorinated Chemicals
PFHpA	Perfluoroheptanoic Acid
PFOA	Perfluorooctanoic Acid
PFOS	Perfluorooctane Sulfonate
PFSA	Perfluorosulfonic Acids
PNUE	United Nations Environment Programme (UNEP)
POP	Persistent Organic Pollutants
PXB	Polyhalogenated Biphenyls
REACH	Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals
RFB	Brominated Flame Retardants
SGH	Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)
SMR	Substances and Materials for Recovery
TSCA	Toxic Substances Control Act
UE	European Union
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UV 328	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-di-tert-pentylphenol
VHU	End-of-Life Vehicles (ELV)
VLE	Emission Limit Values

Definitions

Stockholm Convention on POPs / POP Convention	An international treaty adopted in 2001 to protect human health and the environment from persistent organic pollutants (POPs) by restricting or banning their production and use and managing their waste. The convention targets highly dangerous substances known for their persistence, bioaccumulation, and potential for long-range environmental transport.
Bioaccumulative	A substance's ability to accumulate in living organisms and persist at higher concentrations than in the environment.
Congeners	In chemistry, refers to various forms or configurations of the same chemical structure.
Hazardous Waste	Any waste that possesses one or more hazardous properties listed in Annex III of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and Council of 19 November 2008. Such wastes are marked with an asterisk in the waste list mentioned in Article R. 541-7.
POP Waste	Any waste consisting of, containing or contaminated with one or more of the substances listed in Annex IV to Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on persistent organic pollutants, the content of which is equal to or greater than the concentration limits laid down in the said Annex.
Waste containing POP	Any waste consisting of, containing or contaminated with one or more of the substances listed in Annex IV to Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on persistent organic pollutants, irrespective of the content of such substance(s).
Ecotoxic	A substance that is toxic to organisms living in the environment, potentially damaging ecosystems.
Persistent	A substance that remains in the environment for a long time without degrading, thereby accumulating in the food chain.
Pesticide	A substance or mixture intended to prevent, destroy, or control pests or plant diseases, used in agriculture or other settings.
POP product	A product containing persistent organic pollutants, which are chemicals resistant to degradation and capable of accumulating in food chains.

Industrial Chemicals	Chemicals produced for industrial applications, including solvents, plasticizers, and other compounds used in manufacturing processes.
POP Protocole (Aarhus Protocol on POPs)	A regional agreement under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), adopted in 1998. It aims to control, reduce, or eliminate releases of persistent organic pollutants, complementing the Stockholm Convention by focusing on atmospheric emissions reduction.
Regulation (EU) 850/2004 (POP Regulation)	European legislation to protect human health and the environment from persistent organic pollutants, aligning with the Stockholm Convention obligations. Initially adopted in 2004 and updated since, it imposes restrictions on the production, marketing, and use of POPs and their waste management.
Regulation (EU) 2019/1021 (Updated POP Regulation)	A regulation replacing the 2004 POP Regulation to minimize or eliminate, where possible, the releases of these substances and regulate waste containing or contaminated by them. It has been amended multiple times, most recently by Regulation (EU) 2022/2400, updating Annexes IV and V.
Emission Source	The origin or process by which pollutants are released into the environment, including industrial facilities, vehicles, or agricultural practices.
Unintentional By-products/Contaminants	Harmful substances produced unintentionally during industrial processes, combustion, or other human activities.
Toxic	Refers to a substance that is harmful or deadly to living organisms when ingested, inhaled, or contacted through the skin.
TEQ (Toxic Equivalent Quantity)	A measure used in toxicology and ecotoxicology to quantify the toxicity of a mixture of different dioxins.
Use	The manner in which a substance, product, or equipment is employed or intended to be used by humans, involving aspects such as application, function, or purpose.

1 Cadrage de l'étude

1.1 Objectifs de l'étude

Cette étude vise à faire le point sur les connaissances et les données existantes sur la présence de Polluants Organiques Persistants (POP) dans les déchets, afin d'identifier les leviers et les freins qu'il faudra poursuivre ou surmonter pour, à terme, faciliter l'identification et la gestion des déchets contenant des POP. L'objectif principal est d'avoir une compréhension claire de la réglementation actuelle et future concernant les POP et les déchets qui en contiennent. Ceci comprend un panorama international des réglementations sur la thématique, un rappel des principaux dangers liés aux POP, une revue de la littérature scientifique qui aborde les différents enjeux liés aux POP dans les déchets, suivie d'une identification des produits et déchets contenant des POP, et enfin une analyse de flux de ces composés dans les déchets. L'approche se veut à la fois rétrospective, contemporaine et prospective, permettant de formuler des recommandations sur les enjeux et priorités dans la gestion des déchets contenant des POP.

Terminologie : dans ce rapport, les « déchets contenant des POP » correspondent à n'importe quel déchet contenant des substances POP, quelle que soit la teneur. Cette définition générique est ensuite découpée en différentes catégories de déchets, telles que décrites dans le **Tableau 3**.

1.2 Périmètres de l'étude

1.2.1 Périmètre technique

L'étude se focalise sur les produits et déchets contenant des substances chimiques qualifiées de POP. Ceci inclut les substances présentant les quatre propriétés définissant les POP (persistants, bioaccumulables, toxiques, mobiles sur de grandes distances) et les produits les contenant de manière intentionnelle (pesticides, usages industriels) ou les émettant de manière non intentionnelle (combustion, incinération de déchets).

1.2.2 Périmètre thématique

L'étude porte sur 3 axes principaux d'investigation :

- le contexte réglementaire concernant les POP, à leur gestion dans les produits et dans l'environnement, et à leur présence dans les déchets (et à la gestion de tels déchets) ;
- les connaissances scientifiques liées aux POP (caractéristiques physico-chimiques, données toxicologiques et éco-toxicologiques) et les enjeux soulevés par le monde scientifique de la présence de POP dans les déchets ;
- les connaissances sur les produits (et donc déchets) contenant des POP (composition, durée d'usage, quantités mises sur le marché, gestion de fin de vie, etc.).

1.2.3 Périmètre temporel

La collecte des informations jugées pertinentes pour l'étude se focalise sur des périodes temporelles différentes selon la nature de l'information recherchée :

- Réglementation sur les POP et les POP dans les déchets : de 1998 à 2023.
- Connaissances scientifiques sur les POP dans les déchets : de 2015 à 2023.
- Produits/déchets contenant des POP : de 2010 à 2023 (en prenant en compte les caractéristiques de durée de vie des produits et les données de mise sur le marché).

1.2.4 Périmètre géographique

De même, l'étude couvre différents périmètres géographiques :

- Réglementation : France, Europe, et certains pays tiers (Asie, Amérique du Nord, etc.).
- Connaissances scientifiques : à l'échelle mondiale.

- Produits/déchets contenant des POP : flux nationaux et importés, avec exclusion des flux exportés.

2 État de l'art de la réglementation et des connaissances scientifiques sur les déchets contenant des POP

2.1 Présentation des POP et des POP dans les déchets

2.1.1 Introduction aux POP

Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances chimiques produites par l'Homme (voir Figure 1) qui demeurent dans l'environnement pendant de longues périodes, et contaminent à travers les écosystèmes terrestres et aquatiques (voir Figure 2).

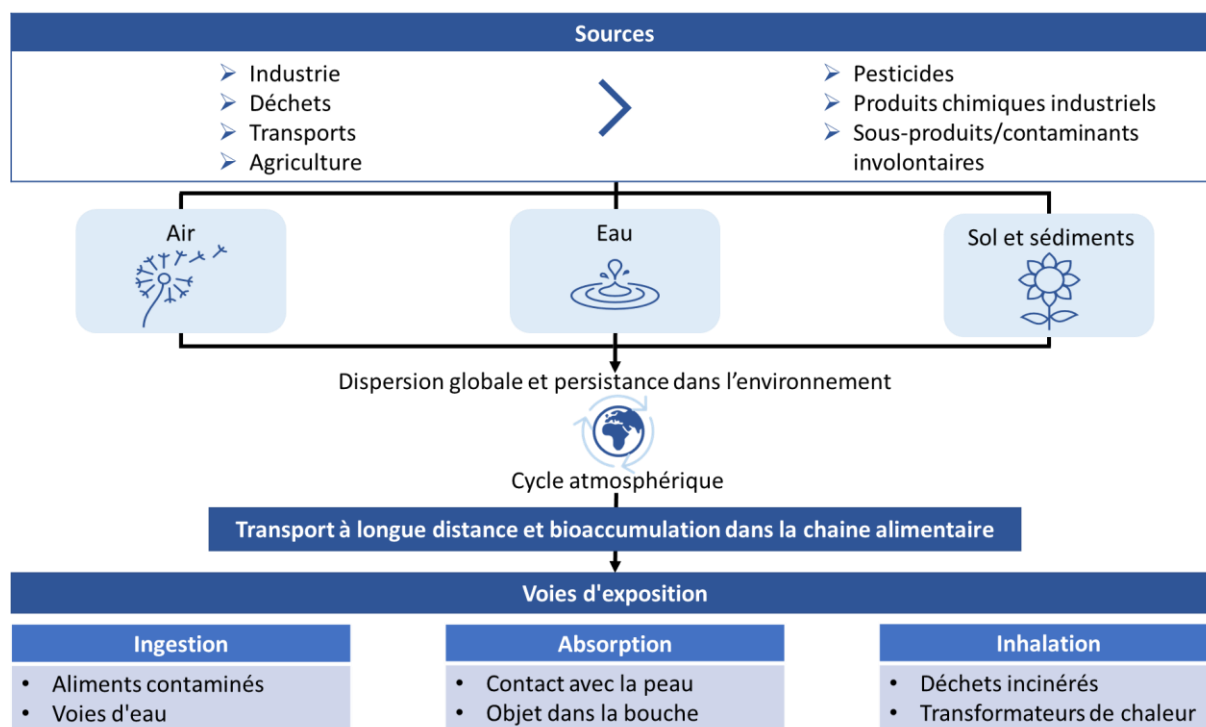


Figure 1 : Les modes d'expositions majeurs des POP et leurs sources (compilation RECORD, 2024) (SGS, 2015³)

Principalement d'origine anthropique, les POP sont des substances chimiques, plus précisément des composés organiques synthétiques, caractérisés par une faible solubilité dans l'eau, une forte solubilité dans les lipides ou encore une très grande stabilité.

Ainsi, les POP sont des composés chimiques extrêmement préoccupants pour l'environnement et la santé humaine notamment en raison de leurs quatre caractéristiques principales qui les définissent :

- **Persistants** : ils ne se dégradent pas facilement, restant dans l'environnement pendant de longues périodes. Leurs DT50 (temps de demi-vie dans l'environnement) sont très grands.
- **Bioaccumulables** : ils s'accumulent dans les tissus des organismes vivants, y compris les humains, à travers le réseau alimentaire. Leurs facteurs de bioaccumulation et de bioamplification sont très élevés.
- **Toxiques** : ils présentent un risque pour l'environnement et la santé, pouvant causer des maladies graves comme le cancer, des perturbations du système endocrinien et des problèmes de reproduction.
- **Transportables sur de longues distances** : ils peuvent se déplacer à des concentrations élevées loin de leur source originelle, affectant des régions éloignées comme l'Arctique.

³ Proliferation, regulation and mitigation of persistent organic pollutants (pops) in consumer products and supply chains, SGS, 2015

La résistance des POP aux dégradations photolytiques, biologiques et chimiques leur permet de persister pendant des siècles dans l'environnement. Leur stabilité est largement due à la présence de liaisons carbone-halogène, en particulier des liaisons carbone-fluor ou carbone-chlore, qui sont extrêmement robustes contre les processus environnementaux de dégradation. Par exemple, le dichloro-diphényl-trichloroéthane (DDT), un pesticide bien connu, et les PCB (polychlorobiphényles) sont des POP typiques dont la persistance s'explique par ces liaisons stables. Leur liposolubilité, une autre caractéristique clé, leur permet de s'accumuler dans les tissus biologiques, réduisant ainsi leur exposition à des agents dégradants plus efficaces dans les milieux aqueux. Leur faible réactivité chimique rend les POP résistants non seulement aux micro-organismes dégradants, mais aussi à la dégradation photolytique. Ces caractéristiques permettent aux POP de s'accumuler dans les tissus vivants et de s'amplifier au sein de la chaîne alimentaire, avec des facteurs de bioaccumulation et facteur de bioamplification pouvant atteindre des niveaux extrêmement élevés, comme dans le cas du DDT, qui peut se concentrer jusqu'à des milliers de fois dans les tissus des animaux, s'accumuler ainsi dans les organismes vivants à des concentrations beaucoup plus élevées que celles présentes dans l'environnement. Cette résistance accrue pose des défis majeurs pour l'environnement et la santé humaine, car ces composés s'accumulent dans les chaînes alimentaires et peuvent avoir des effets toxiques à long terme.

De plus, leur capacité à migrer sur de longues distances à travers l'atmosphère et l'hydrosphère, malgré leur lipophilie, avant d'être déposés, contribue à leur distribution mondiale et à leur transfert dans la chaîne alimentaire globale. En effet, ces substances sont très stables, par exemple ils ont un DT50 élevé – Le DT50 (Demi-vie) est le temps nécessaire pour que 50 % d'une substance, souvent un pesticide ou un produit chimique, se dégrade ou disparaisse dans un environnement donné, comme le sol ou l'eau – et ils peuvent être transportés sur des très grandes distances par les vents ou par l'eau, voire pas des animaux migrateurs. Par exemple, par le vent, il faut 1 à 2 semaines pour traverser l'Atlantique, 1 à 2 mois pour un déplacement entre les deux hémisphères ou un déplacement entre l'équateur et les pôles.

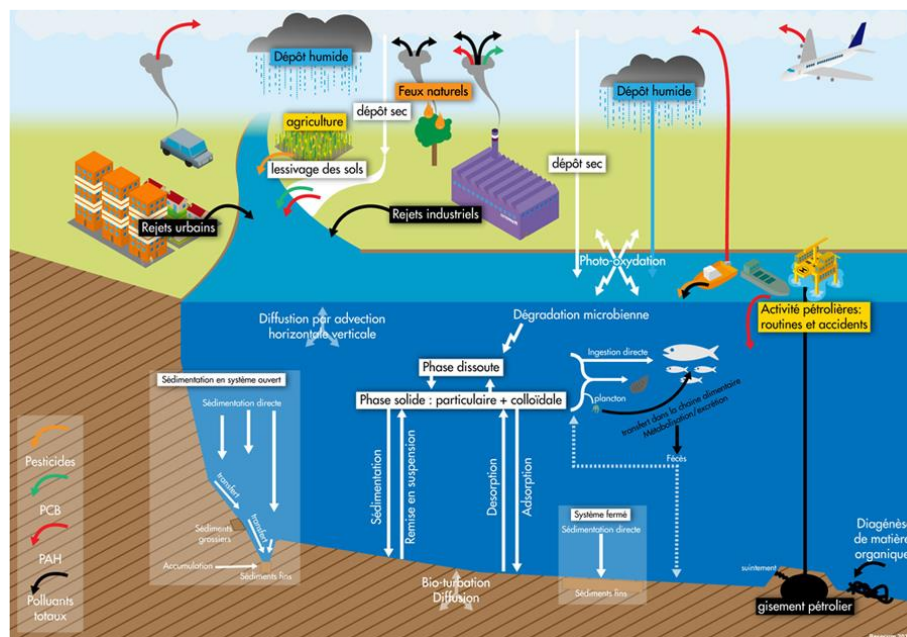


Figure 2 : Cycle biogéochimique des POP dans l'environnement (Michel, X., 1993⁴)

Ces substances chimiques ont été produites par l'homme de manière intentionnelle (pesticides ou POP ajoutés pour leurs propriétés dans l'industrie manufacturière) ou non intentionnelle (rejetés dans l'environnement via l'incinération de déchets ou de biomasse, la réalisation de procédés industriels).

Il existe de nombreux POP différents qui peuvent être regroupés en trois classes ou groupes ou catégories, ces regroupements étant repris dans la Convention de Stockholm, (texte détaillé ci-dessous) :

- Pesticides,
- Produits chimiques industriels,

⁴ [Introduction : fonctionnement et dysfonctionnements des écosystèmes](#), UVED

- Sous-produits chimiques non intentionnels.

Les substances chimiques sont désignées en tant que POP non pas sur la base de leur structure chimique, mais en fonction de leurs propriétés environnementales et toxicologiques, notamment leur persistance dans l'environnement, leur potentiel de bioaccumulation, et leur toxicité pour les organismes vivants.

Les principales grandes familles de POP pouvant être citées sont les suivantes :

- Les pesticides comme **les pesticides organochlorés**, tels que le DDT, l'aldrine, le chlordane, le mirex et l'heptachlore, ont été largement utilisés dans l'agriculture pour protéger les cultures et les élevages, pour contrôler les insectes nuisibles et dans les programmes de santé publique pour lutter contre les vecteurs de maladies comme les moustiques.
- Les **composés chimiques industriels**, y compris l'hexachlorobenzène (HCB) et l'hexachlorocyclohexane (HCH), ont été utilisés à des fins variées, notamment comme pesticides et dans la production de certains produits chimiques industriels. Par exemple, un isomère de l'HCH, le lindane, a été utilisé comme insecticide et il a aussi pu être utilisé en pharmacie humaine en France. Les **biphényles polychlorés (PCB)**, ont été utilisés dans les équipements électriques comme les transformateurs et les condensateurs, ainsi que dans certains matériaux de construction comme les mastics et les peintures, en raison de leurs propriétés isolantes et de leur stabilité chimique.
- Les **sous-produits de la combustion et de divers processus industriels comme les dioxines et les furanes** se forment principalement lors de l'incinération des déchets et de la combustion du bois et du charbon. Les **hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** sont généralement produits par la **combustion incomplète de matières organiques**, comme le bois, le charbon, le pétrole et le tabac. Ils sont présents dans divers contextes, des émissions industrielles aux échappements des véhicules, et peuvent se retrouver dans l'air, l'eau et le sol. Aux fins des inventaires d'émissions, il est indiqué dans le règlement POP que les quatre indicateurs de composés utilisés sont les suivants : benzo(a)pyrène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3-cd)pyrène.
- Les retardateurs de flamme :
 - Les **retardateurs de flamme bromés**, comprenant les polybromodiphényléthers (PBDE) sont utilisés pour augmenter la résistance au feu de produits de consommation tels que les appareils électroniques, les meubles et les textiles. Les retardateurs de flamme autres que les PBDE, comme les hexabromocyclododécane (HBCD), peuvent être utilisés dans des matériaux isolants et des textiles.
 - Les **retardateurs de flamme chlorés** sont une alternative aux composés bromés. Ces substances sont utilisées dans des applications similaires pour augmenter la résistance au feu des matériaux, mais au lieu de bromure, elles contiennent du chlore dans leur structure chimique. Par exemple, l'hexachlorocyclopentadiène (HCCD) est utilisé dans la fabrication de résines ignifuges.
- Les **composés perfluorés**, comme le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), sont des substances employées dans la fabrication de produits résistants à la chaleur, à l'eau et aux taches comme des revêtements antiadhésifs pour la cuisine (exemple : le PFOA dans le téflon), des produits anti-tâches pour les textiles et des mousses d'extinction d'incendie. A noter que la famille des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) comprend plusieurs milliers de composés avec des utilisations et des propriétés variées. Sur ces milliers de composants seuls les familles de substances PFOS, les PFOA et les PFHxS sont actuellement caractérisés comme des POP. En outre, le cadre réglementaire évolue constamment pour inclure d'autres substances ou familles de substances sur la liste, à l'image de l'ajout progressif des PFOS et PFHxS dans les différents textes réglementaires.

Tableau 1 : Récapitulatif des différentes familles de POP (liste non exhaustive) (RECORD, 2024)

Type de POP	Exemple			Usage
	Exemples – Nom complet	Acronyme	Exemples de formules chimiques	
Pesticides organochlorés	Pesticides organochlorés (exemple : DDT, Aldrine, Chlordane, Mirex, Heptachlore)	DDT, N/A	C ₁₄ H ₉ Cl ₅ (DDT)	Contrôle des insectes nuisibles en agriculture et lutte contre les vecteurs de maladies
Fongicides	Pesticides (Hexachlorobenzène, Pentachlorophénol)	HCB, PCP	C ₆ HCl ₅ O (PCP)	Utilisés sur les champignons et moisissures qui attaquent les cultures, causant des maladies comme le mildiou, la rouille, ou encore le fusarium
Composés chimiques industriels	Composés chimiques industriels (exemple : Hexachlorobenzène, Hexachlorocyclohexane, Biphényles polychlorés)	HCB, HCH, PCB	C ₆ Cl ₆ (HCB), C ₁₂ H ₁₀ -xCl _x (PCB, x varie)	Utilisés dans les équipements électriques, matériaux de construction, pesticides
Sous-produits de combustion	Polychlorodibenzodioxines (PCDD) Polychlorodibenzofuranes (PCDF) Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	PCDD PCDF HAP	N/A	Sous-produits de l'incinération des déchets et de la combustion
Retardateurs de flamme bromés	Polybromodiphényléthers (PBDE)	PBDE	C ₁₂ H ₁₀ -xBr _x (PBDE, x varie)	Augmente la résistance au feu de produits de consommation (électroniques, meubles, textiles)
Retardateurs de flamme chlorés	Hexachlorocyclopentadiène (HCCD)	HCCD	C ₅ Cl ₆	Augmente la résistance au feu des matériaux, utilisé dans la fabrication de résines ignifuges
Composés perfluorés	Sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et Acide perfluorooctanoïque (PFOA)	PFOS, PFOA	C ₈ F ₁₇ SO ₃ ⁻ (PFOS), C ₈ F ₁₅ O ₂ H (PFOA)	Fabrication de produits résistants à la chaleur, à l'eau, aux taches (revêtements antiadhésifs, textiles, mousses d'extinction)

Les POP peuvent également être classés en plusieurs de ces catégories en fonction de leur utilisation et de leur origine. Cette liste couvre les principales catégories de POP mais n'est pas exhaustive. En outre, certains **polluants émergents**, tels que certains plastifiants comme les paraffines chlorées chaînes moyennes ou d'autres substances comme les PFAS, sont actuellement à l'étude pour démontrer/confirmer les risques pour une possible inclusion en tant que POP réglementé en raison de leur persistance, leur bioaccumulation, et leur toxicité (voire section 4.1). L'inclusion est aussi régie par le respect de la temporalité de la procédure pour les intégrer parmi ceux règlementés. Cette évolution peut être illustrée par la liste des PFAS caractérisés comme des POP dans les règlements qui s'élargit en parallèle des études qui sont menées dessus.

2.1.2 Les POP dans les produits et déchets

Sources des POP

Comme indiqué précédemment, les POP ont deux origines principales (voir Figure 3) :

- Une **production intentionnelle de produits chimiques** pour l'agriculture et pour l'industrie. Parmi ces produits, se trouvent, entre autres, des pesticides, des PCB et de l'hexachlorocyclohexane (HCH),
- Une **production non intentionnelle** qui se réalise en particulier lors des combustions, notamment la combustion du bois et dans les incinérateurs d'ordures ménagères. Ces sources sont identifiées comme des **sources fixes d'émissions de POP**. Cette deuxième origine concerne principalement les dibenzodioxines polychlorées, les polychlorodibenzo-furanes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

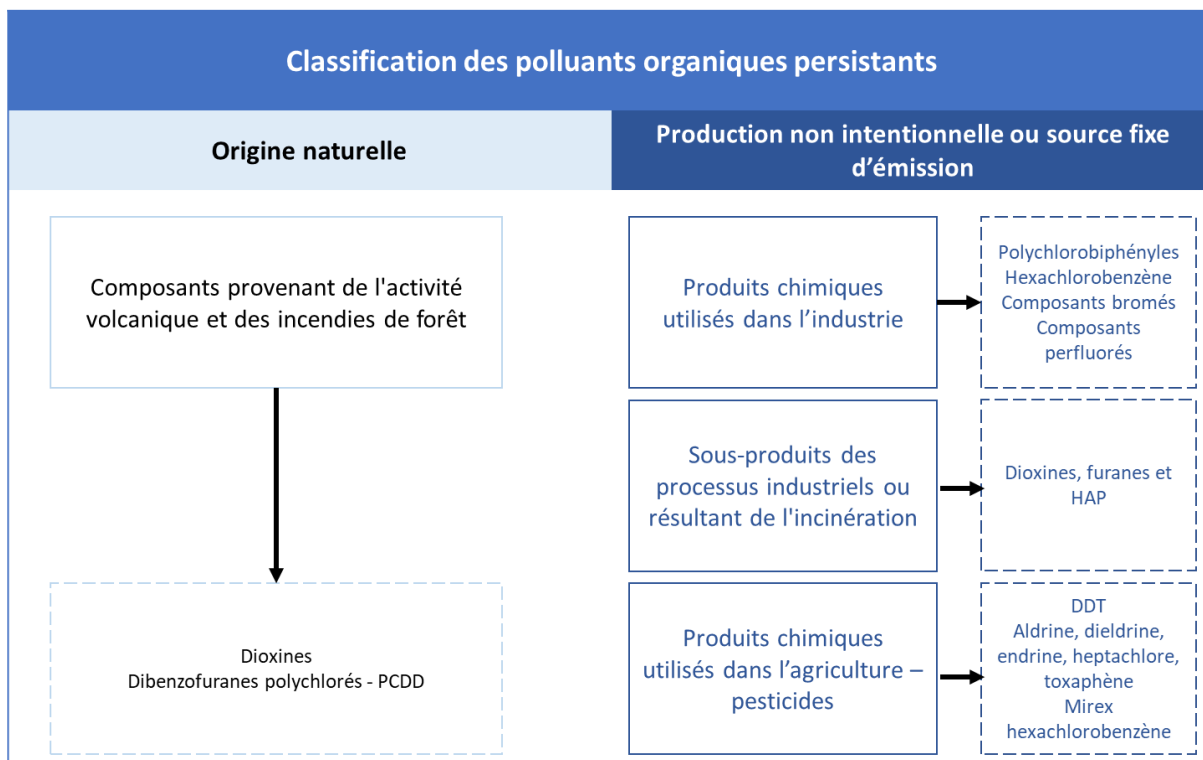


Figure 3 : Classification des polluants organiques persistants en fonction de leur origine (compilation RECORD, 2024) (Banaduc, A., 2016⁵)

Le cycle de vie des matériaux et produits contenant des POP

Les substances POP sont ou ont été utilisées dans une multitude de produits du quotidien et dans tous les secteurs (énergie, transport, bâtiment/construction/infrastructure, électronique, agroalimentaire, plastiques, textiles et éléments d'ameublement). Ces substances ont des propriétés importantes pour la durabilité ou la sécurité d'utilisation de ceux-ci. Par exemple, les propriétés de retardateur de flamme du PBDE (un POP bromé) font qu'ils sont largement présents dans les EEE, l'ameublement, le bâtiment ou encore les véhicules. Fortement présents dans nos quotidiens, les produits réalisés à base de plastiques et caoutchoucs contiennent aussi de nombreux POP selon les propriétés physico-chimiques recherchées (additifs permettant de conserver la structure, la couleur ou la résistance du plastique).

Des articles de consommation courante aux équipements spécifiques, les POP peuvent être présents dans des matériaux tels que les plastiques, textiles, équipements électroniques et même dans les produits agroalimentaires, les rendant omniprésents dans la chaîne de consommation et de gestion des déchets (voir Tableau 2 et Figure 4).

⁵ Persistent organic pollutants general considerations, Banaduc, A., Burcea, A., Banaduc, D., 2016
Etude RECORD n°23-0679/1A

Tableau 2 : Principaux produits (et donc futurs déchets associés) contenant des POP (liste non exhaustive) (RECORD, 2024)

Produits/matériaux et déchets	Principales familles de POP concernées	Principale propriété physico-chimique
Équipements électriques et électroniques (EEE)	PBDE, HBB, HBCD	Retardateurs de flamme, additifs utilisés lors de la fabrication des pièces plastiques
Véhicules	PBDE	Retardateurs de flamme
Textiles et éléments d'ameublement	PBDE, HBCD, PFOS, PFOA	Traitements pour la résistance au feu ou autres propriétés spéciales.
Plastiques et caoutchoucs	Variés	Additifs utilisés lors de la fabrication
Matériaux de construction	HBCD, PCB	Retardateurs de flamme, isolation
Déchets municipaux	Variés	Variés

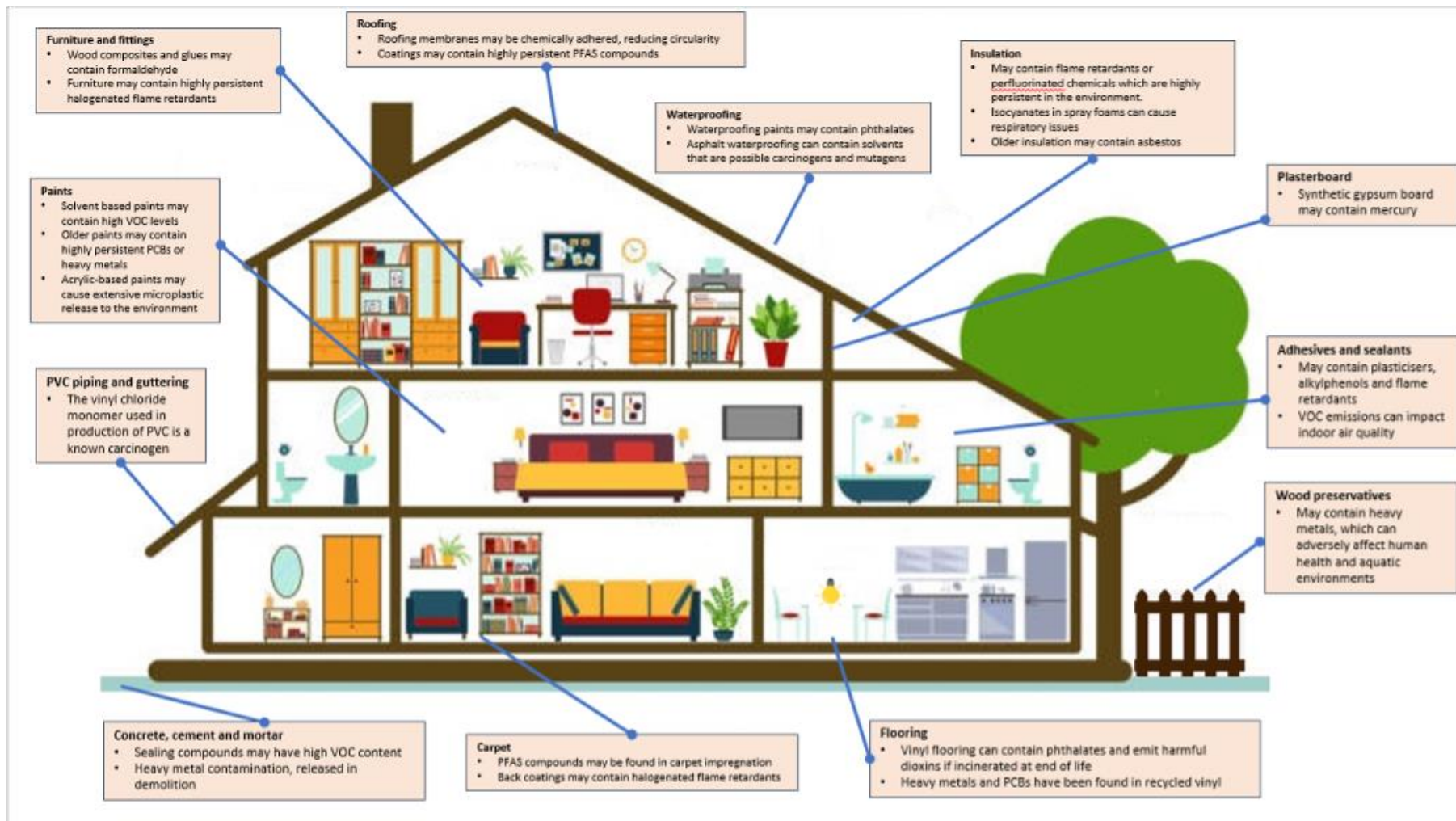


Figure 4 : Exemple de POP retrouvés dans les objets du quotidien (UNEP, 2022)⁶

⁶ [Industrial POPs](#), UNEP

Cependant, une fois les produits arrivés en fin de vie, leur gestion en tant que déchets est complexifiée à cause de la présence de POP, qui représentent un risque environnemental et sanitaire en cas de relargage dans l'environnement lors de leur traitement (voir Figure 5). La gestion des déchets contenant des POP dans des conditions satisfaisantes représente donc un défi considérable⁷. En effet, le volume de déchets contenant des POP ne va cesser de croître à l'image du gisement potentiel de DEEE avec une production des 54 Mt de déchets qui serait amené à être doublé d'ici 2050. De même, les 400 millions de tonnes de déchets plastiques générés chaque année devraient être multipliés par deux en 2040, ce qui illustre les difficultés à prévoir. Il convient alors de traiter ces déchets avec une importance particulière pour obtenir un traitement efficace et prévenir la pollution environnementale.

À noter que le traitement des déchets contenant des POP est encadré par des règlements internationaux, comme la Convention de Stockholm, et par la législation nationale (voir section 2.2). Ces déchets doivent être collectés, identifiés et traités par des méthodes spécialisées, souvent par incinération à haute température ou par d'autres technologies de destruction, afin de prévenir leur libération dans l'environnement. Les normes exigent une destruction complète ou une réduction significative de leur concentration, en suivant des procédures surveillées et des exigences strictes de suivi et de gestion des risques. En effet, si le déchet classé comme POP (avec des concentrations au-dessus d'un certain seuil établi dans le règlement UE) n'est pas automatiquement catégorisé comme dangereux, cela n'empêche pas la mise en place d'une gestion spécifique, comme l'illustre le considérant 17 et l'article 7 sur la gestion des déchets du règlement POP :

« Afin de promouvoir la traçabilité des déchets contenant des POP et d'en assurer le contrôle, il convient que les dispositions relatives au système de tenue de registres établi conformément à l'article 17 de la directive 2008/98/CE s'appliquent également aux déchets contenant des POP qui ne sont pas considérés comme des déchets dangereux au sens de la décision 2014/955/UE de la Commission. »⁸

« Nonobstant la directive 96/59/CE du Conseil, les déchets qui sont constitués de substances figurant sur la liste de l'annexe IV du présent règlement, en contiennent ou sont contaminés par ce type de substances sont éliminés ou valorisés sans retard injustifié et conformément à l'annexe V, partie 1, du présent règlement de manière à ce que les POP qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP.

Au cours de cette élimination ou de cette valorisation, toute substance figurant sur la liste de l'annexe IV peut être isolée des déchets, à condition d'être par la suite éliminée conformément au premier alinéa. »

Il existe néanmoins des écarts entre la réglementation et sa mise en œuvre effective, par manque de connaissance sur les produits et déchets qui en contiennent, et la teneur en POP dans ces produits et déchets.

⁷ [Industrial POPs](#), UNEP

⁸ [RÈGLEMENT \(UE\) 2019/1021 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants](#)

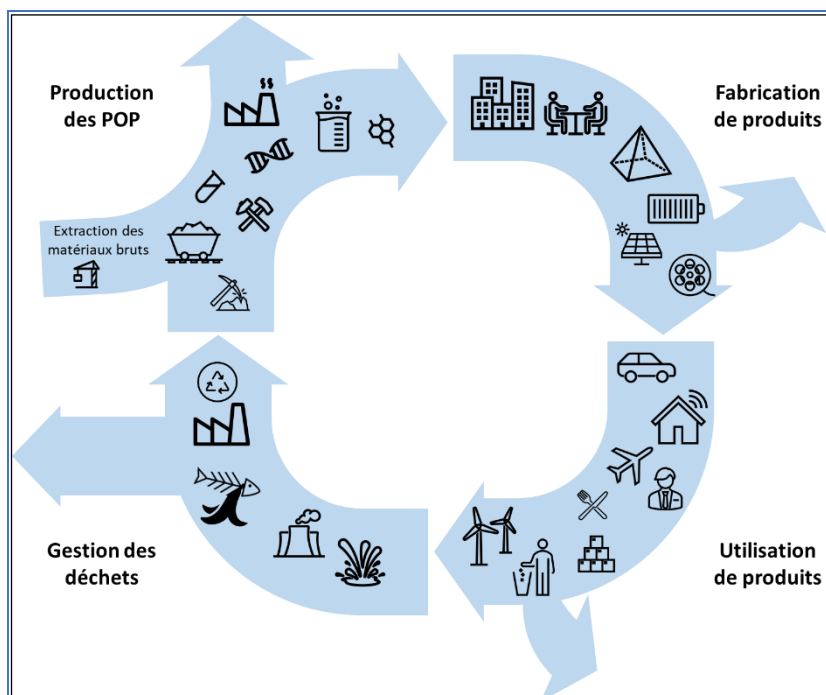


Figure 5 : Cycle de vie des POP dans l'environnement (RECORD, 2024)

La synthèse des dernières connaissances scientifiques révèle une prise de conscience croissante et une compréhension approfondie des risques associés aux POP, et notamment via leur présence dans les déchets. Les études récentes mettent en lumière l'urgence d'adopter des pratiques de production plus propres, de développer des alternatives moins nocives et de mettre en place des systèmes de gestion des déchets permettant d'atténuer la présence de ces polluants persistants dans l'environnement et minimiser leur impact sur la santé humaine et les écosystèmes.

Présentation des acteurs intervenants dans le cycle de vie d'un produit contenant des POP

L'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur est concerné, de la fabrication à la gestion des déchets, ce qui implique une diversité d'acteurs interconnectés. En effet, la gestion des POP doit se faire durant l'intégralité du cycle de vie d'un produit. À la base, les fournisseurs de matières premières approvisionnent les fabricants de produits, qui jouent un rôle central en développant les produits finaux, souvent en collaboration avec des centres de R&D pour innover et améliorer les produits. Ces fabricants alimentent les distributeurs et les importateurs, qui font le lien avec les utilisateurs finaux, qui sont ainsi des producteurs de déchets. Une fois les produits utilisés, ils sont pris en charge par les collecteurs, qui les acheminent vers les centres de tri des déchets. Ceux-ci trient les déchets pour qu'ils soient ensuite envoyés aux centres de gestion des déchets, où ils sont traités de manière appropriée. Par ailleurs, les autorités publiques, telles que l'Union européenne et les gouvernements, supervisent et régulent l'ensemble de cette chaîne pour assurer la conformité aux normes environnementales, en s'appuyant sur les éco-organismes agréés pour les produits concernés par une filière à responsabilité élargie du producteur (REP). Le recyclage, le réemploi et la réutilisation de certains matériaux est également à prendre en compte, fermant ainsi la boucle de ce cycle complexe et essentiel pour la durabilité environnementale.

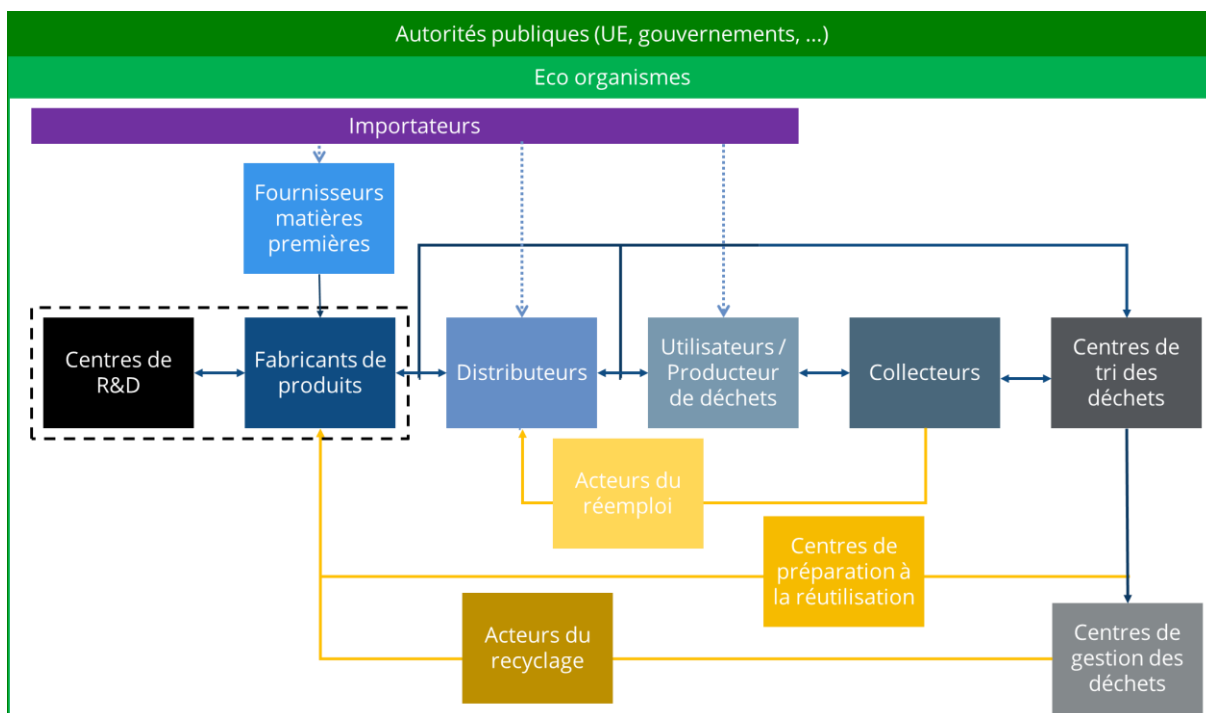


Figure 6 : Chaîne de valeur simplifiée des acteurs présents tout au long du cycle de vie d'un produit (RECORD, 2024) Les flux en pointillés sont de flux potentiels, les acteurs encadrés peuvent ne former qu'un seul acteur

Gestion des déchets contenant des POP

La gestion des déchets contenant des POP est un défi multidimensionnel nécessitant des politiques et des pratiques de gestion robustes. La connaissance approfondie des caractéristiques et des impacts des POP est essentielle pour développer des stratégies efficaces de gestion des déchets, avec un objectif clair de protection de la santé publique et de l'environnement. Cette gestion des déchets est au cœur de la problématique d'élimination des POP pour éviter qu'ils ne soient remis sur le marché dans une logique d'économie circulaire par des pratiques comme le réemploi, la réutilisation ou le recyclage qui pourraient réintroduire ces substances dans des objets du quotidien et permettre une seconde dispersion prolongeant les impacts possibles sur les êtres humains et les écosystèmes.

La gestion *ad hoc* de ces déchets est cruciale pour minimiser les risques pour la santé et l'environnement. Cela inclut des méthodes spécifiques pour l'identification, le traitement et la destruction sécurisée des POP. En effet, lorsque les POP et les déchets concernés sont identifiés, leur gestion doit alors se faire en accord avec la législation correspondante pour traiter au mieux ces déchets. Selon les POP présents et le type de déchets, ces derniers peuvent être incinérés, recyclés, enfouis ou encore démantelés (voir Figure 7). Il est important de noter que les déchets dont les teneurs en POP dépassent les seuils fixés ne sont considérés comme des déchets dangereux, ce qui est détaillé dans la partie 4.2 du rapport.

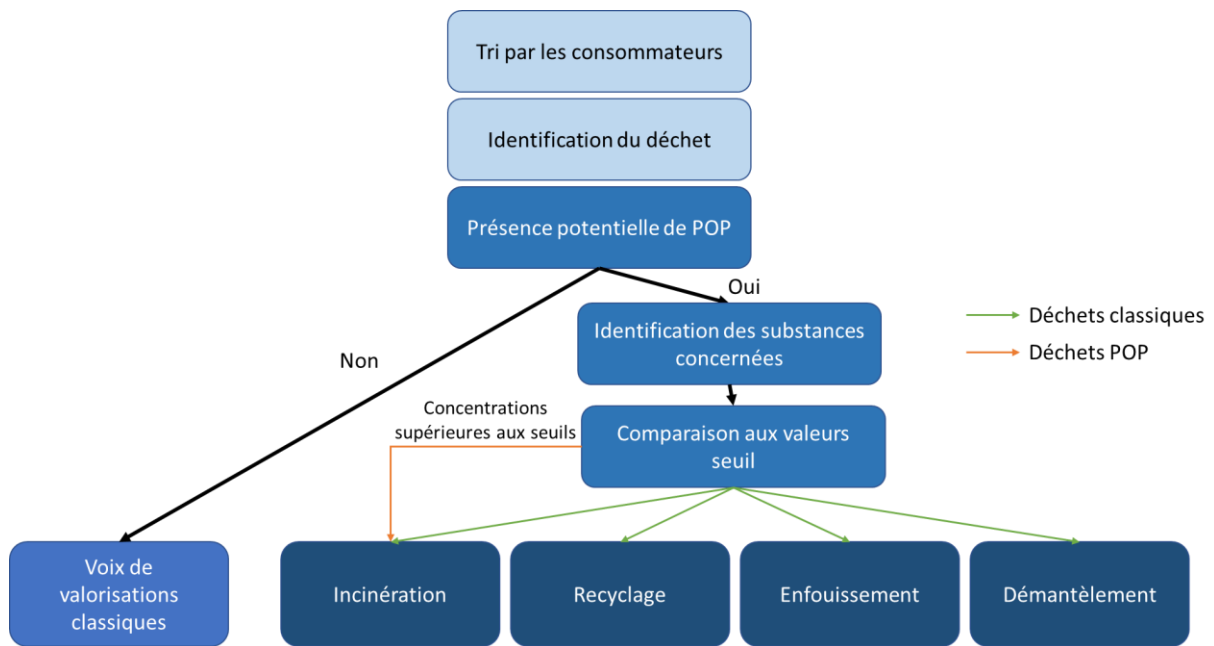


Figure 7 : Différentes possibilités de gestion des déchets contenant des POP (RECORD, 2024)

Les opérations de gestion des déchets ne sont cependant pas anodines et peuvent présenter en elles-mêmes un risque d'émission de POP. Par exemple, lors du broyage ou de l'incinération d'un déchet, il est fort probable que ce dernier libère dans l'air les substances (ou des produits de dégradation) qu'il contenait. Des précautions et des moyens de mitigation sont donc à mettre en place pour éviter de répandre ces POP dans l'air, l'eau et le sol lors de rejets.

Dans le cadre de la gestion des déchets et de la conformité aux réglementations européennes, le schéma décisionnel en Figure 8 est un outil visant à faciliter le classement des déchets. Il permet de déterminer si un déchet doit être considéré comme dangereux ou non dangereux, en se basant sur une approche systématique en plusieurs étapes, conformément aux exigences de la législation européenne en vigueur. L'étape de vérification de la présence de substances classées comme POP montre une ambivalence dans le traitement des POP. Ces substances peuvent être absentes, en quantités inférieures aux seuils réglementaires ou dépasser ses seuils et le déchet pourra dans tous les cas être considéré comme non dangereux. Dans d'autres cas (pour certains POP ou méthodes de traitement communément admises), le déchet sera classé comme dangereux.

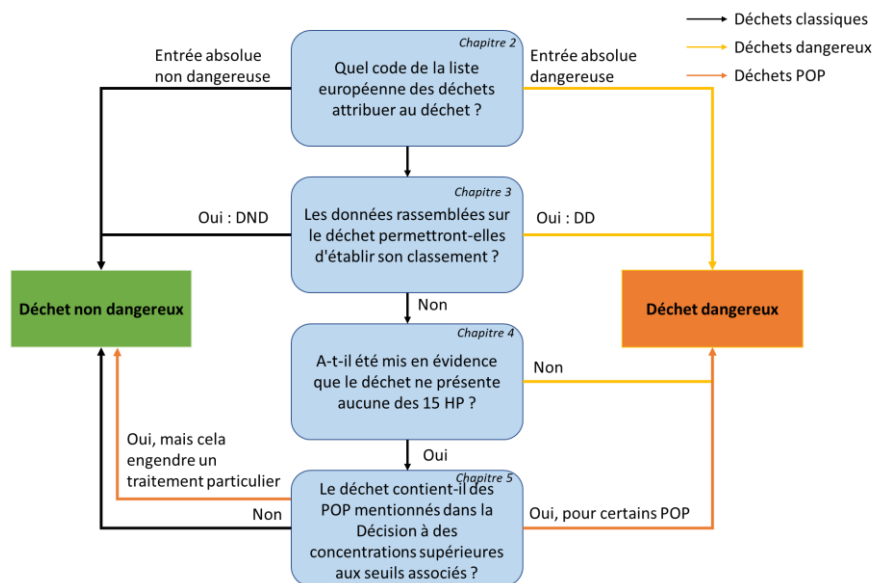


Figure 8 : Classification réglementaire des déchets – Adaptation du guide d’application pour la caractérisation en dangerosité (RECORD / INERIS, 2016⁹)

Les déchets concernés par l’étude (dit déchets contenant des POP) peuvent donc être divisés en quatre catégories, en croisant la teneur en POP et les propriétés de danger impliquant des modes de gestion correspondant :

Tableau 3 : Catégorisation des différents déchets contenant des POP (RECORD, 2024)

Caractérisation du déchet		Classification et Mode de gestion attendu
Teneur en l'une ou plusieurs des substances figurant sur la liste de l'annexe IV du règlement POP	Propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/98/ CE	
POP ≥ seuil	Non	Déchets POP - gestion appropriée pour les déchets POP, assurant la destruction complète de la substance POP contenue
POP ≥ seuil	Oui	Déchet dangereux - gestion des déchets dangereux, tel que décrit ci-dessous, y compris la destruction complète de la ou les substance(s) contenue(s).
POP < seuil	Non	Déchet non dangereux - gestion traditionnelle pour un déchet non dangereux, et ne contenant pas de POP : recyclage, incinération ou enfouissement. En l’occurrence, les POP contenus ne seront pas forcément détruits, et pourront être incorporés dans de nouveaux matériaux par recyclage.
POP < seuil	Oui	Déchet dangereux – gestion des déchets dangereux, tel que décrit ci-dessous.

⁹ Classification réglementaire des déchets - Guide d’application pour la caractérisation en dangerosité, INERIS, 2016

La gestion des déchets dangereux ou celles des déchets POP peut être assez similaire, à l'exception des déchets POP mais non dangereux qu'il faut juste éliminer, pour ne pas les retrouver dans les boucles de recyclage ce qui fait qu'ils peuvent être enfouis en décharges de déchets non dangereux ou incinérés dans des installations de déchets non dangereux à l'image des déchets contenant de POP évoqués ci-dessus. Cependant, ces deux catégories de déchets suivent tous un processus rigoureux pour garantir la protection de la santé publique et de l'environnement. Le processus diffère légèrement en fonction des substances contenues et responsables du statut dangereux ou POP du déchet. Voici les étapes principales allant du producteur de déchets jusqu'à leur élimination :

- **Production et identification** : Les producteurs de déchets dangereux ou POP doivent identifier et caractériser les déchets qu'ils génèrent en exploitant des opérations de caractérisations réalisées par les éco-organismes (industries, hôpitaux, laboratoires, etc). Chaque déchet est classé selon le code européen des déchets (CED) qui précise sa dangerosité. À cette étape, les entreprises de tri peuvent elles aussi caractériser les matériaux tels que les plastiques par des analyseurs.

Les méthodes d'analyse des POP dans les déchets incluent des techniques spécifiques pour détecter des substances telles que l'aldrine, le DDT, le HCB, les PCB, ainsi que les PCDD et PCDF. Ces méthodes sont basées sur la chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à capture d'électrons ou sur d'autres techniques avancées comme la spectrométrie de masse à haute résolution (HRMS). Des normes ISO, AOAC et EPA définissent les protocoles pour chaque substance dans des matrices telles que l'eau, le sol, et les effluents, garantissant une surveillance précise des contaminants dans les déchets¹⁰.

- **Traçabilité** : Un bordereau de suivi des déchets dangereux (BSDD) est établi à chaque étape du processus pour ces deux catégories de déchets. Ce document garantit la traçabilité des déchets depuis leur production jusqu'à leur traitement final. À noter que le système de BSDD est maintenant dématérialisé par le système Track-déchets qui est encadré réglementairement avec un décret et un arrêté ministériel.
- **Analyse et caractérisation élémentaire du déchet** : Cette étape permet de déterminer leur composition chimique et physique. Elle vise à identifier les éléments et substances présents dans un déchet afin de mieux comprendre ses propriétés, ses risques potentiels, et les options pour son traitement ou sa valorisation. Cette étape est réalisée de manière systématique chez les acteurs du traitement des déchets quand ils les reçoivent. Par exemple, un acteur réalise systématiquement des prélèvements avec des caractérisations (quantification des éléments chimiques, mais pas l'identification de molécules) pour tracer les PFAS (pour rappel, tous les PFAS ne sont pas des POP, mais c'est le cas pour certains d'entre eux).
- **Stockage Temporaire** : Les déchets dangereux ou POP sont souvent stockés temporairement sur le site de production dans des conteneurs adaptés et étiquetés. Cet entreposage doit se faire dans des conditions propres à éviter les risques de contamination ou accident.
- **Collecte et Transport** : Les déchets sont ensuite collectés par des transporteurs autorisés à transporter les substances concernées, spécialisés dans la manipulation de matières dangereuses. Ces transporteurs doivent suivre des procédures de sécurité rigoureuses, y compris l'utilisation de véhicules spécialement équipés.
- **Traitement** : Les déchets sont transportés vers des installations de traitement autorisées au titre de la législation des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Ces installations doivent également respecter la directive IED (Industrial Emissions Directive) et appliquer les Meilleures Techniques Disponibles (MTD), telles que définies dans les documents de référence BREF¹¹. Pour certaines substances particulièrement dangereuses, comme les POP (par exemple les PCB), un agrément spécifique est nécessaire pour assurer leur traitement. Les méthodes de traitement varient en fonction de la nature des déchets et de la réglementation applicable :
 - **Incinération** : Pour les déchets organiques et certains déchets chimiques, l'incinération à haute température permet de réduire leur volume et leur dangerosité. Cette méthode est principalement employée dans la gestion des déchets POP. À noter que le traitement des composés chimiques issus de la combustion de déchets POP inclut des

¹⁰ [Projet de directives techniques générales actualisées pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de polluants organiques persistants \(POP\), en contenant ou contaminés par ces substances](#), Basel Convention

¹¹ [BREF - document de référence sur les meilleures techniques disponibles](#), INERIS

dispositifs de filtration et de dépollution pour limiter voire empêcher leur rejet dans l'atmosphère, comme les filtres à particules et les systèmes de traitement des gaz.

Les installations d'incinération doivent respecter des limites strictes pour les rejets atmosphériques et aqueux. Pour les émissions atmosphériques, les dioxines et furanes doivent être limités à 0,1 ng/m³, mesurés conformément à l'annexe III. Les effluents aqueux sont également régulés, avec des limites pour le PFOS et ses dérivés à 25 µg/l, pour les dioxines et composés similaires à 0,3 ng/l TEQ, et pour l'HBCD à 25 µg/l¹².

- **Neutralisation et Stabilisation** : Certains déchets chimiques sont neutralisés ou stabilisés pour les rendre inoffensifs.
- **Recyclage** : par exemple, le recyclage des déchets plastiques est réalisé après une décontamination chimique, utilisant des solvants, des réactions chimiques ou des traitements thermiques pour détruire ou extraire les POP. En outre, lorsque les plastiques contiennent de faibles concentrations de POP, il est parfois possible de les recycler mécaniquement. cependant, un enjeu à cette étape est de limiter leur réutilisation à des produits non sensibles afin d'éviter de se retrouver dans la cas des jouets réalisés à partir de plastiques recyclés pouvant contenir des POP.
- **Stockage Ultime** : Les résidus ultimes, c'est-à-dire les déchets qui ne peuvent être ni recyclés ni valorisés, sont stockés dans des installations de stockage de déchets dangereux (ISDD) conçues pour prévenir toute pollution.
- **Contrôle et Surveillance** : Les installations de traitement et de stockage sont régulièrement inspectées par les autorités pour vérifier le respect des normes environnementales et de sécurité.

La surveillance et le contrôle des installations d'incinération des déchets sont aussi rigoureusement gérés par les autorités réglementaires. Il s'agit notamment de surveiller en permanence les émissions de polluants tels que les dioxines, les furanes et les métaux lourds. Les installations doivent fonctionner dans le cadre de permis environnementaux stricts, garantissant le respect des limites d'émission. Des inspections et des audits réguliers sont effectués pour vérifier que la technologie utilisée répond aux normes requises et que les conditions d'exploitation sont respectées. Les infractions peuvent entraîner des sanctions, y compris des restrictions opérationnelles ou des fermetures.

Pour plus de précisions, un déchet dans son ensemble est rarement qualifié de POP directement lorsqu'il arrive en centre de tri : les déchets sont d'abord triés, séparés, voir broyés afin de distinguer les flux par matériaux, et ce sont les matériaux dépassant le seuil de teneur en POP au sein de ces flux de déchets qui sont ensuite isolés en tant que déchets POP. Ainsi, un premier tri visuel ou mécanique permet d'identifier quels matériaux (et quelle fraction du flux de déchet) peut contenir des POP pour ensuite rediriger cette fraction vers le bon procédé de traitement. Cette redirection est effectuée en aval d'une étape de démontage et séparation des matériaux. Par exemple, certains plastiques, isolés des DEEE, vont être broyés, ou encore les huiles, pompées hors des VHU, seront directement régénérées sur un site identifié pour la molécule présente. La mesure de la teneur en POP et la distinction entre déchets POP et déchets non POP est réalisée après ces étapes de séparation des matériaux.

Finalement, ce processus de gestion des déchets dangereux, qui peut être résumé grâce à la figure ci-dessous, est encadré par des réglementations strictes, notamment le Code de l'environnement pour la France, et vise à minimiser les risques pour l'environnement et la santé humaine.

¹² [Arrêté du 20/09/02 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux](#), INERIS

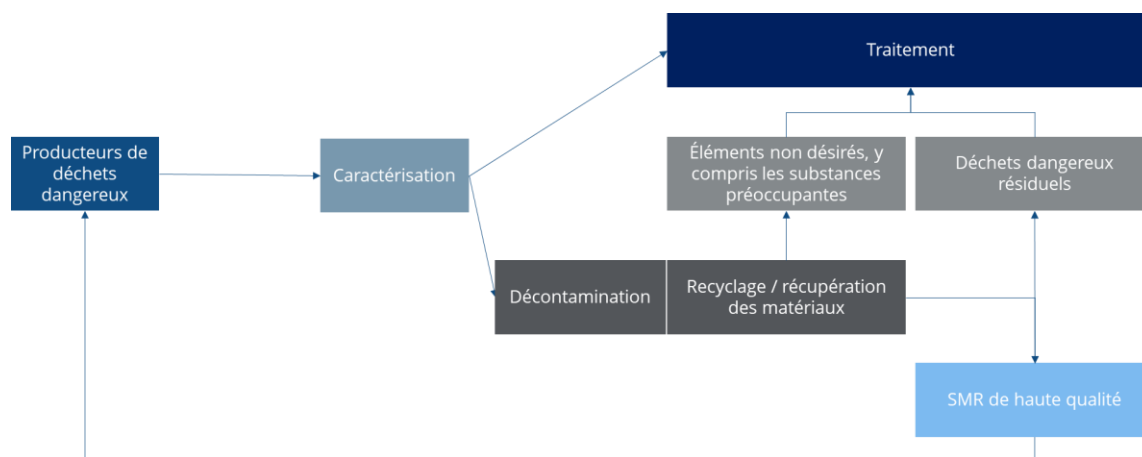


Figure 9 : Chaîne de la gestion des déchets dangereux (RECORD, 2024)

2.2 État de l'art de la réglementation

2.2.1 Des contextes réglementaires à différentes échelles

2.2.1.1 Contexte réglementaire international

Les POP et les produits/déchets en contenant sont encadrés par des accords internationaux majeurs, notamment le Protocole d'Aarhus et la Convention de Stockholm.

Protocole ou convention d'Aarhus ou « Protocole POP » (protocole de UNECE et LRTAP)

Le Protocole d'Aarhus de 1998 sur les POP est un traité international visant à contrôler, réduire ou éliminer les rejets, les émissions et les pertes de POP. Le protocole a été adopté sous l'égide de la Commission Économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE) et sert d'ajout à la Convention de Genève de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (LRTAP)¹³.

Le Protocole d'Aarhus s'est initialement concentré sur une liste de 16 substances, qui comprenait 11 pesticides, 2 produits chimiques industriels et 3 sous-produits/contaminants. Certains produits chimiques (aldrine, chlordane, chlordécone, dieldrine, endrine, hexabromobiphényle, mirex et toxaphène) ont été purement et simplement interdits par le protocole (production et utilisation interdites), tandis que d'autres (DDT, heptachlore, PCB, hexachlorobenzène), ont vu leur production et utilisation restreintes en 1998 en vue d'une élimination future¹⁴. Ces substances avaient des usages critiques qui rendaient leur interdiction complète problématique à court terme. Par exemple, le DDT était encore considéré comme un outil important dans la lutte contre le paludisme dans certaines régions du monde, malgré ses impacts environnementaux et sur la santé. Pour les PCB et l'hexachlorobenzène, bien que reconnus comme étant hautement toxiques et persistants, leur utilisation était profondément ancrée dans divers secteurs industriels. Une interdiction immédiate aurait nécessité des solutions de remplacement adéquates et des stratégies de transition pour les industries concernées.

Le protocole est entré en vigueur en octobre 2003 et a été amendé en 2009¹⁵. Les Parties au Protocole sur les POP ont révisé les obligations pour le DDT, l'heptachlore, l'hexachlorobenzène et les PCBs qui ont alors été interdits. Les valeurs limites d'émission (VLE) pour l'incinération des déchets ont été revues à la baisse. Les décisions 2009/1 et 2009/2 incluent également sept nouvelles substances : hexachlorobutadiène, éther diphenylique octabromé, pentachlorobenzène, éther diphenylique pentabromé, sulfonates de perfluorooctane, naphthalènes polychlorés et paraffines chlorées à chaîne courte. Ces substances ont des utilisations variées comme en tant qu'additifs ignifugeants pour le caoutchouc ou les textiles, dans les plastiques retardateurs de flamme, comme intermédiaire dans la synthèse de certains produits chimiques de spécialité, pour produire le pesticide pentachloronitrobenzène ou encore dans la production de fluides diélectriques. En outre, en vue de

¹³ [Protocol on Persistent Organic Pollutants \(POPs\)](#), UNECE

¹⁴ [Protocole à la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, de 1979, relatif aux polluants organiques persistants](#), UNECE

¹⁵ [Entry into force of more stringent regulations on persistent organic pollutants in the UNECE region milestone in air quality and chemical management](#), UNECE

faciliter la ratification du Protocole par les pays à économie en transition, les Parties ont introduit des flexibilités pour ces pays concernant les délais d'application des VLE plus longs et une certaine souplesse sur l'utilisation de meilleures techniques disponibles (MTD) pour contrôler les émissions de POP. Enfin, les Parties ont adopté les décisions 2009/3 et 2009/4 pour mettre à jour les orientations sur les MTD pour contrôler les émissions de POP dans l'annexe V et en transformer des parties en document d'orientation, comme contenu dans l'annexe VII.

Le Protocole inclut également des dispositions pour la gestion des déchets des substances chimiques qui seront interdites. Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, de furanes, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et d'hexachlorobenzène (HCB) en dessous de leurs niveaux de 1990 (ou d'une année alternative entre 1985 et 1995). Il établit des valeurs limites spécifiques pour des sources fixes d'émissions de dioxines et furanes dans l'air lors de l'incinération de différents types de déchets comme les déchets municipaux, dangereux et médicaux¹⁶.

Ce protocole possède de nombreuses annexes pour le compléter qui traitent de sujets en particulier. Ces annexes se découpent de la manière suivante :

- **Annexe I – Substances devant être éliminées** : Cette annexe concerne l'aldrine, le chlordane, le chlordécone, le DDT, les dieldrines, l'endrine, l'heptachlore, l'hexabromobiphényle, l'hexachlorobenzène, le mirex, le PC et encore le toxaphène.
- **Annexe II – Substances dont l'utilisation doit être limitée** : Cette annexe concerne le DDT, le HCH et le PCB.
- **Annexe III – Substances visées à l'alinéa a du paragraphe 5 de l'article 3 et année de référence pour l'obligation** : Cette annexe regroupe les HAP, les dioxines et les furanes, l'hexachlorobenzène et le PCB.
- **Annexe IV – Valeurs limites pour les dioxines et les furanes provenant de grandes sources fixes**
- **Annexe V – Meilleures techniques disponibles pour lutter contre les émissions de polluants organiques persistants provenant de grandes sources fixes** : La présente annexe vise à donner aux Parties à la Convention des indications pour déterminer les meilleures techniques disponibles et leur permettre de s'acquitter des obligations énoncées au paragraphe 5 de l'article 3 du Protocole. Une description plus complète de ces meilleures techniques disponibles ainsi que des conseils les concernant sont fournis dans un document d'orientation adopté par les Parties à une session de l'Organe exécutif et peuvent être actualisés selon que de besoin par consensus par les Parties réunies au sein de l'Organe exécutif.
- **Annexe VI – Délais d'application des valeurs limites et des meilleures techniques disponibles aux sources fixes nouvelles et aux sources fixes existantes**
- **Annexe VII – Mesures recommandées pour réduire les émissions de polluants organiques persistants provenant de sources mobiles** : Cette annexe regroupe les niveaux d'émission applicables aux véhicules neufs et aux paramètres du carburant, la restriction de l'utilisation de fixateurs et additifs halogènes dans les carburants et lubrifiants et les mesures de réduction des émissions de POP provenant de sources mobiles
- **Annexe VIII – Grandes sources fixes** : Les installations ou parties d'installations utilisées pour les activités de recherche-développement et pour la mise à l'essai de nouveaux produits ne sont pas comprises dans la présente liste. Une description plus détaillée des catégories est fournie dans le document d'orientation mentionné à l'annexe V.

Les amendements aux annexes V et VII sont entrés en vigueur pour la plupart des Parties le 13 décembre 2010. Les amendements selon les décisions 2009/1 (modifiant le texte et les annexes I, II, III, IV, VI et VIII) sont entrés en vigueur le 20 janvier 2022¹⁷. Les amendements selon 2009/2 (modifiant les annexes I et II) sont entrés en vigueur le 26 février 2023¹⁸.

¹⁶ [Protocol on Persistent Organic Pollutants \(POPs\)](#), UNECE

¹⁷ [Amendments to the Text and to Annexes I, II, III, IV, VI and VIII to the 1998 Protocol on Persistent Organic Pollutants](#), United Nations Treaty Collection

¹⁸ [Amendments to the Text and to Annexes I, II, III, IV, VI and VIII to the 1998 Protocol on Persistent Organic Pollutants](#), United Nations Treaty Collection

Tableau 4 : Récapitulatif des substances mentionnées dans le Protocole d'Aarhus (RECORD, 2024)

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Protocole d'Aarhus 1998	Date d'interdiction (mise en application du protocole)	Production réglementée	Utilisation réglementée
Aldrine (ALD)	309-00-2	Pesticides	utilisé principalement pour contrôler les termites, les insectes du sol et les moustiques	Interdit	2003	X	X
Chlordane (CHL)	57-74-9	Pesticides	employé pour le contrôle des termites ainsi que dans l'agriculture contre divers insectes	Interdit	2003	X	X
Chlordécone	143-50-0	Pesticides	insecticide utilisé principalement dans la culture de la banane pour lutter contre le charançon	Interdit	2003	X	X
Dieldrine (DIE)	60-57-1	Pesticides	utilisé pour le contrôle des termites, des insectes du sol et dans l'agriculture	Interdit	2003	X	X
Endrine (END)	72-20-8	Pesticides	utilisé contre les rongeurs et comme insecticide pour les cultures	Interdit	2003	X	X
Hexabromobiphényle	36355-01-8	Produits chimiques industriels	retardateur de flamme, utilisé dans les plastiques et d'autres matériaux pour réduire leur inflammabilité	Interdit	2003	X	X
Mirex (MIR)	2385-85-5	Pesticides	utilisé pour lutter contre les fourmis de feu et comme retardateur de flamme	Interdit	2003	X	X
Toxaphène (TOX)	8001-35-2	Pesticides	insecticide utilisé en agriculture, en particulier dans la culture du coton	Interdit	2003	X	X
DDT (DDT)	50-29-3	Pesticides	insecticide utilisé pour contrôler les moustiques porteurs de maladies telles que le paludisme	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	2023	X	X
Heptachlore (HEP)	76-44-8	Pesticides	employé principalement dans le contrôle des termites et comme insecticide agricole	Production interdite en 1998 et utilisation restreinte en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdite en 2009	2023	X	X

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Protocole d'Aarhus 1998	Date d'interdiction (mise en application du protocole)	Production réglementée	Utilisation réglementée
Hexachlorobenzène (HCB)	118-74-1	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	utilisé comme fongicide, dans la fabrication de caoutchouc synthétique et comme sous-produit dans la fabrication d'autres produits chimiques	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	2023	X	X
Polychlorobiphényles (PCB)	-	Produits chimiques industriels	employés dans les équipements électriques pour leurs propriétés isolantes, ainsi que dans d'autres applications industrielles en raison de leur stabilité chimique	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	2023	X	X
Dioxines (PCDD)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produits de la combustion et de la production industrielle	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1990	NA	NA	NA
Furanes (PCDF)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produits de la combustion et de la production industrielle	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1990	NA	NA	NA
Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produits formés par la combustion incomplète de charbon, d'huile, de gaz, de bois, de déchets et d'autres matières organiques	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1991	NA	NA	NA
Hexachlorobutadiène (HCBD)	87-68-3	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produit de la fabrication d'autres produits chimiques chlorés et peut également être libéré lors de la combustion de matériaux contenant du chlore	Interdit	2023	X	X
Hexachlorocyclohexanes (HCH) y compris le lindane (CAS: 58-89-9)	608-73-1	Pesticides	pesticides. Le lindane, spécifiquement, a été utilisé comme insecticide	Interdit, sauf pour l'isomère gamma du lindane	2023	-	X
Hexabromodiphényléther et heptabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	retardateurs de flamme dans divers produits, y compris les plastiques et les textiles	Interdit, utilisation restreinte en 2009	2023	X	X

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Protocole d'Aarhus 1998	Date d'interdiction (mise en application du protocole)	Production réglementée	Utilisation réglementée
Tetrabromodiphényléther et pentabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	retardateurs de flamme dans plusieurs applications industrielles	Interdit, utilisation restreinte en 2009	2023	X	X
Pentachlorobenzène (PeCB)	608-93-5	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produit de certains processus de fabrication chimique et de la combustion	Interdit	2023	X	X
Sulfonates de perfluorooctane (PFOS)	-	Produits chimiques industriels	applications résistantes à l'eau et aux taches, y compris dans certains produits de consommation et industriels	Interdit sauf exception	2023	X	X
Naphtalènes polychlorés (PCN)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	contaminants ou sous-produits dans le mélange des PCBs et d'autres processus chimiques	Interdit	2023	X	X
Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP)	-	Produits chimiques industriels	plastifiants et retardateurs de flamme dans divers produits, notamment les peintures, les adhésifs et les matériaux d'étanchéité	Interdit sauf exception	2023	X	X

Pour une bonne compréhension de ce tableau, le « X » présent dans les colonnes « Production réglementée » et « Utilisation réglementée » est équivalent à un « Oui » et indique que le POP a bien une production et utilisation réglementée.

Le Protocole d'Aarhus peut être vu comme une avancée significative pour aborder les problèmes environnementaux et sanitaires mondiaux causés par les POP, étant donné son approche complète pour éliminer ou réduire ces polluants. Cependant, plusieurs points pourraient être critiqués :

- **Mise en œuvre et application** : l'efficacité du protocole dépend fortement de la robustesse de ses mécanismes de mise en œuvre et d'application. En l'absence de mesures de conformité strictes, les objectifs du protocole pourraient ne pas être pleinement réalisés.
- **Portée des substances** : bien que le protocole couvrait initialement 16 substances, il existe de nombreux composés qui répondraient à la définition de POP sans être clairement identifiés comme tel par le protocole qui pourraient potentiellement nuire à l'environnement et à la santé humaine. Le protocole a été modifié pour inclure des substances supplémentaires, mais le processus de mise à jour de cette liste peut être lent, ne suivant pas forcément le rythme de l'introduction et de l'identification de nouvelles substances chimiques dangereuses.
- **Considérations économiques** : l'exigence d'élimination ou de réduction des POP peut avoir des implications économiques pour les industries qui s'appuient sur ces substances. Alors que le protocole introduit des flexibilités pour les pays en transition concernant l'application des VLE et des MTD, le fardeau économique sur certaines industries et pays pourrait être significatif.
- **Couverture mondiale** : le protocole a été principalement signé par les pays d'Europe et certains pays de l'ex-Union soviétique. La nature mondiale de la pollution par les POP nécessite une coopération internationale plus large et une harmonisation des normes et réglementations, partiellement abordée par la Convention de Stockholm ultérieure.
- **Assistance technique et financière** : les pays en développement et les pays en transition pourraient nécessiter une assistance technique et financière pour répondre aux obligations du protocole, qui pourrait ne pas être adéquatement prévue dans le cadre du traité.
- **Incertitude scientifique** : l'identification et la classification des substances comme POP dépendent de la recherche scientifique. Cela pourrait conduire à des retards dans l'inclusion de substances nocives ou à l'interdiction prématurée de substances sans preuves adéquates.

Le Protocole d'Aarhus représente un effort international important pour lutter contre la pollution environnementale par les POP. Cependant, son succès est conditionné par la résolution de ces critiques, en particulier en ce qui concerne la mise en œuvre, la portée et la coopération internationale.

Convention de Stockholm ou « Convention POP »

S'appuyant sur le Protocole d'Aarhus de 1998, la Convention de Stockholm¹⁹ a élevé les enjeux que représentent les POP sur la santé et l'environnement au niveau mondial. Ces deux textes possèdent les mêmes objectifs : contrôler, réduire ou éliminer les émissions de ces substances dans l'environnement. Signée le 22 mai 2001 à Stockholm avec une entrée en vigueur le 17 mai 2004, la Convention de Stockholm est un traité environnemental international visant à éliminer ou à restreindre la production et l'utilisation des POP. Elle comprend 152 signataires et 179 parties à la Convention (c'est-à-dire 178 États et l'Union européenne). Cependant, les États notables non ratifiant incluent les États-Unis, Israël et la Malaisie. Initialement, la Convention de Stockholm ciblait seulement 12 des POP les plus persistants et toxiques : Aldrine, Chlordane, DDT, Dieldrine, Endrine, Heptachlore, Hexachlorobenzène, Mirex, PCBs, Toxaphène, Dioxines et Furanes. En raison du risque majeur que représentent les POP pour la santé et l'environnement et de la nécessité de surveiller et de mettre à jour constamment les nouveaux produits chimiques entrant sur le marché, de nombreuses autres substances ont rejoint la liste (Pentachlorobenzène, Hexabromobiphényle, Alpha-hexachlorocyclohexane, Bêta-hexachlorocyclohexane, Lindane (gamma-hexachlorocyclohexane), Pentachlorophénol et ses sels et esters, Chlordecone, Hexabromocyclododécane, Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Acide perfluorooctanoïque (PFOA), Hexabromodiphényléther et heptabromodiphényléther, Méthoxychlore, Déchlorane Plus, UV-328, Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), Dicofof, Décabromodiphényléther (c-DécaBDE), Paraffines chlorées à chaîne courte, Hexachlorobutadiène, Naphtalènes polychlorés, Endosulfan technique et ses isomères, Pentachlorobenzène, et Éther tétrabromodiphénylique et éther pentabromodiphénylique)²⁰, portant le nombre total de POP couverts par la Convention de Stockholm à 24 (voir Tableau 5). Elle a de plus établi un processus par lequel de nouveaux composés toxiques persistants peuvent être examinés et ajoutés à la convention s'ils répondent à certains critères de persistance et de menace transfrontalière. Sa couverture a donc vocation à encore s'élargir et intégrer d'autres POP. Dernièrement, en octobre 2023, les débats de la 19^{ème} réunion du Comité d'étude sur les POP de la Convention de Stockholm

¹⁹ [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants \(POPs\)](#)

²⁰ [The new POPs under the Stockholm Convention](#), Stockholm Convention on POPs

ont porté sur l'inclusion de trois groupes de substances : le chlorpyrifos, les acides perfluorocarboxyliques à longue chaîne et les composés apparentés (LC-PFCA), et les paraffines chlorées à chaîne moyenne (MCCPs)²¹.

Cette convention est complétée par trois annexes qui délimitent le cadre de l'élimination des substances POP, leur restriction et la réduction des rejets non intentionnels :

1. **Annexe A : Élimination**

Cette annexe concerne les substances qui doivent être éliminées. Les États parties à la convention doivent prendre des mesures pour cesser la production et l'utilisation des substances listées. Cela inclut des produits chimiques comme les pesticides (ex. : DDT) et certains produits industriels (ex. : PCB).

2. **Annexe B : Restriction**

Les substances inscrites dans cette annexe sont soumises à des restrictions d'utilisation. Elles ne sont pas totalement interdites, mais leur usage est limité à des cas spécifiques. Un exemple est le **DDT**, qui peut encore être utilisé dans certaines circonstances liées à la lutte contre le paludisme.

3. **Annexe C : Réduction des rejets non intentionnels**

Cette annexe vise les substances émises de manière non intentionnelle lors de certains procédés industriels ou activités humaines, comme la combustion. Il s'agit principalement de dioxines et de furannes. Les États doivent prendre des mesures pour réduire ou éliminer ces émissions.

²¹ [Service national d'assistance réglementaire POP](#), INERIS

Tableau 5 : Récapitulatif des substances mentionnées dans la Convention de Stockholm (MAJ en 2023) (RECORD, 2024)

Légende :

Les 12 substances POP initiales reconnues par la Convention de Stockholm comme ayant des effets négatifs sur la santé et l'environnement.

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Convention de Stockholm 2001	Date d'interdiction dans la convention	Production réglementée	Exception de production	Utilisation réglementée	Exceptions d'utilisation	Annexe de la Convention concernant cette substance
Aldrine (ALD)	309-00-2	Pesticides	utilisé principalement pour contrôler les termites, les insectes du sol et les moustiques	Interdit	2001	X	-	-	oui	A - partie 1
Chlordane (CHL)	57-74-9	Pesticides	employé pour le contrôle des termites ainsi que dans l'agriculture contre divers insectes	Interdit	2001	X	oui	X	oui	A - partie 1
Chlordécone	143-50-0	Pesticides	insecticide utilisé principalement dans la culture de la banane pour lutter contre le charançon publique	Interdit	2009	X	-	X	-	A - partie 1
Decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE)	1163-19-5	Produits chimiques industriels	utilisé en tant que retardateur de flammes	Interdit	2017	X	-	X	oui	A - partie 1
Dechlorane Plus	13560-89-9	Produits chimiques industriels	utilisé en tant que retardateur de flammes	Interdit	2023	X	-	X	oui	A - partie 1
Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT)	50-29-3	Pesticides	insecticide utilisé pour contrôler les moustiques porteurs de maladies telles que le paludisme	Interdit	2001	X	oui	-	-	A - partie 1, B - partie 1
Dicofol	115-32-2	Pesticides	pesticide utilisé pour lutter contre les acariens	Interdit	2019	X	-	X	--	A - partie 1
Dieldrine (DIE)	60-57-1	Pesticides	utilisé pour le contrôle des termites, des insectes du sol et dans l'agriculture	Interdit	2001	X	-	X	oui	A - partie 1
Dioxines (PCDD)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produits de la combustion et de la production industrielle	Interdit	2001	NA	NA	NA	NA	A - partie 1
Endrine (END)	72-20-8	Pesticides	utilisé contre les rongeurs et comme insecticide pour les cultures	Interdit	2001	X	-	X	-	A - partie 1
Furanes (PCDF)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produits de la combustion et de la production industrielle	Interdit	2001	NA	NA	NA	NA	A - partie 1

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Convention de Stockholm 2001	Date d'interdiction dans la convention	Production réglementée	Exception de production	Utilisation réglementée	Exceptions d'utilisation	Annexe de la Convention concernant cette substance
Heptachlore (HEP)	76-44-8	Pesticides	employé principalement dans le contrôle des termites et comme insecticide agricole	Interdit	2001	X	-	X	oui	A - partie 1
Hexabromobiphényle	36355-01-8	Produits chimiques industriels	retardateur de flamme, utilisé dans les plastiques et d'autres matériaux pour réduire leur inflammabilité	Interdit	2009	X	-	X	-	A - partie 1
Hexabromocyclododecane (HBCD)	25637-99-4	Produits chimiques industriels	utilisé comme retardateur de flamme	Interdit	2013	X	-	X	oui	A - partie 1
Hexabromodiphényléther et heptabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	retardateurs de flamme dans divers produits, y compris les plastiques et les textiles	Interdit	2009	X	-	X	oui	A - partie 1
Hexachlorobenzène (HCB)	118-74-1	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	utilisé comme fongicide, dans la fabrication de caoutchouc synthétique et comme sous-produit dans la fabrication d'autres produits chimiques	Interdit	2001	X	oui	X	oui	A - partie 1
Hexachlorobutadiène	87-68-3	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	utilisé dans certains processus de fabrication chimique	Interdit	2015	X	-	X	-	A - partie 1
Alpha Hexachlorocyclohexanes (HCH)	319-84-6	Pesticides	sous-produit non intentionnel lors de la fabrication du lindane.	Interdit	2009	X	-	X	oui	A - partie 1
beta Hexachlorocyclohexanes (HCH)	319-85-7	Pesticides	sous-produits non intentionnel lors de la fabrication du lindane.	Interdit	2009	X	-	X	oui	A - partie 1
Lindane	58-89-9	Pesticides	pesticides. Le lindane a aussi été utilisé comme insecticide	Interdit	2009	X	-	X	oui	A - partie 1
Methoxychlor	72-43-5	Pesticides	utilisé comme insecticide	Interdit	2023	X	-	X	-	A - partie 1

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Convention de Stockholm 2001	Date d'interdiction dans la convention	Production réglementée	Exception de production	Utilisation réglementée	Exceptions d'utilisation	Annexe de la Convention concernant cette substance
Mirex (MIR)	2385-85-5	Pesticides	utilisé pour lutter contre les fourmis de feu et comme retardateur de flamme	Interdit	2001	X	oui	X	oui	A - partie 1
Pentachlorobenzène (PeCB)	608-93-5	Sous-produits/contaminants involontaires	sous-produit de certains processus de fabrication chimique et de la combustion	Interdit	2009	X	-	X	-	A - partie 1 C
Pentachlorophénol et ses sels et esters	87-86-5	Pesticides	utilisé comme insecticide et fongicide	Interdit	2015	X	-	X	oui	A - partie 1
Polychlorobiphényles (PCB)	-	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	employé dans les équipements électriques pour leurs propriétés isolantes, ainsi que dans d'autres applications industrielles en raison de leur stabilité chimique	Interdit	2001	X	-	X	oui	A - partie 1
Naphtalènes polychlorés	70776-03-3	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	utilisé dans certains processus industriels	Interdit	2015	X	-	X	oui	A - partie 1 C
Acide perfluorooctanoïque (PFOA), ses sels et les composés liés au PFOA		Produits chimiques industriels	Utilisé dans certaines applications résistantes à l'eau, notamment dans des produits de consommation et industriels	Interdit	2019	X	-	X	oui	A - partie 1
Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés liés au PFHxS		Produits chimiques industriels	Utilisé dans certaines applications résistantes à l'eau	Interdit	2022	X	-	X	-	A - partie 1
Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS), ses sels et fluorure de perfluorooctane sulfonyle (PFOSF)	-	Produits chimiques industriels	applications résistantes à l'eau et aux taches, y compris dans certains produits de consommation et industriels	Interdit	2009	X	oui	X	oui	B - partie 1
Paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC)	85535-84-8	Produits chimiques industriels	utilisé comme additif dans les lubrifiants	Interdit	2017	X	-	X	oui	A - partie 1
Endosulfan technique et ses isomères apparentés	115-29-7)	Pesticides	utilisé comme insecticide	Interdit	2011	X	-	X	oui	A - partie 1
Éther tétrabromodiphénylique et éther pentabromodiphénylique	-	Produits chimiques industriels	utilisé comme retardateur de flamme dans les matériaux polymères	Interdit	2009	X	-	X	oui	A - partie 1

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Exemples d'applications	Convention de Stockholm 2001	Date d'interdiction dans la convention	Production réglementée	Exception de production	Utilisation réglementée	Exceptions d'utilisation	Annexe de la Convention concernant cette substance
Toxaphène (TOX)	8001-35-2	Pesticides	insecticide utilisé en agriculture, en particulier dans la culture du coton	Interdit	2001	X	-	X	-	A - partie 1
UV-328	25973-55-1	Produits chimiques industriels	Utilisé comme stabilisant dans les plastiques	Interdit	2023	X	-	X	oui	A - partie 1

Un pays ayant ratifié la convention de Stockholm interdit et/ou prend les mesures juridiques et administratives qui s'imposent pour éliminer la production et l'utilisation des substances chimiques inscrites à l'annexe A, suivant les dispositions de ladite annexe et l'importation et l'exportation des substances chimiques inscrites à l'annexe A, conformément aux dispositions du paragraphe 2. Il limite aussi la production et l'utilisation des substances chimiques inscrites à l'annexe B, conformément aux dispositions de ladite annexe.

Conventions de Bâle, de Rotterdam et OSPAR

D'autres conventions coordonnent leurs efforts pour gérer les risques associés aux produits chimiques dangereux dans les produits et les déchets, y compris les POP :

- La **Convention de Bâle**²² traitant du contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux et de leur élimination (en vigueur depuis 1992), établie en 1989,
- La **Convention de Rotterdam**²³ traitant de la procédure de consentement préalable en connaissance de cause pour certains produits chimiques et pesticides dangereux dans le commerce international (en vigueur depuis février 2004), établie en 1998,
- La **Convention OSPAR (OSPAR pour « Oslo - Paris »)**²⁴ pour la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est (en vigueur depuis 1998).

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) soutient les parties dans la mise en œuvre de leurs obligations en vertu des conventions de Bâle, de Rotterdam et de Stockholm par le biais de diverses activités et projets liés aux POP, tels que la surveillance mondiale des POP, la recherche d'alternatives au DDT, la gestion des substances ignifuges et la destruction des POP²⁵.

Ces traités et conventions représentent des efforts collectifs importants pour lutter contre les défis posés par les POP à l'échelle mondiale, mettant en évidence la nécessité d'une action coordonnée pour protéger la santé humaine et l'environnement contre ces substances chimiques toxiques et persistantes.

2.2.1.2 Contexte réglementaire européen

Règlement (UE) 2019/1021 dit « Règlement POP »

La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants et le Protocole d'Aarhus sont intégrés dans le cadre juridique de l'Union européenne, notamment à travers l'adoption du règlement (UE) 2019/1021, communément appelé « Règlement POP ». Ce règlement fait suite au règlement 850/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les polluants organiques persistants et modifiant la directive 79/117/CEE²⁶.

Le règlement 2019/1021 est un dispositif réglementaire servant de pierre angulaire pour la mise en application des engagements internationaux relatifs aux POP au sein des États membres de l'UE²⁷. Les substances soumises à la réglementation POP sont classées dans différentes annexes du règlement :

- **L'annexe I concerne les substances soumises à interdiction** (avec certaines exemptions spécifiques) sur la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation. 29 substances et certains de leurs dérivés sont répertoriés dans cette annexe) ;
- **L'annexe II concerne les substances soumises à restriction** sur la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation ;
- **L'annexe III concerne les substances soumises à des dispositions de réduction des rejets** (7 substances répertoriées) ;
- **L'annexe IV concerne les substances soumises à des dispositions de gestion des déchets** (30 substances).
- En outre, **l'annexe V** du Règlement (UE) 2019/1021 traite spécifiquement des **obligations relatives à l'élimination ou à la valorisation des déchets contenant des POP**.

Le règlement établit un cadre strict visant à éradiquer la fabrication, la commercialisation et l'usage des substances répertoriées dans la liste de l'annexe I, qu'elles soient pures, incorporées dans des mélanges ou en tant que composants d'articles manufacturés. Il met un accent particulier sur l'interdiction de ces substances, n'autorisant des dérogations sur l'interdiction de leur utilisation, fabrication et mise sur le marché que sous conditions très spécifiques et contrôlées, afin de protéger la santé publique et l'environnement des dangers que représentent ces produits chimiques hautement

²² [Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal](#)

²³ [Convention de Rotterdam](#)

²⁴ [OSPAR Convention](#)

²⁵ [Persistent Organic Pollutants \(POPs\)](#), UNEP

²⁶ [Règlement \(CE\) n° 850/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les polluants organiques persistants et modifiant la directive 79/117/CEE](#), EUR-Lex

²⁷ [Règlement \(UE\) 2019/1021 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants \(refonte\) \(Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE.\)](#), EUR-Lex

toxiques et durablement persistants. La base de données de l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques) mentionne **actuellement 32 substances ou groupe de substances uniques/entrées dans ces annexes**²⁸.

En outre, ce règlement s'attache à la surveillance et à la réduction des émissions non intentionnelles de POP, issues de processus industriels ou d'autres sources. Il s'agit là d'une reconnaissance implicite que, malgré les meilleures pratiques et technologies, certains rejets peuvent survenir et doivent donc être rigoureusement contrôlés et minimisés.



L'annexe IV du règlement POP liste les molécules considérées comme POP. Le règlement POP ne s'applique aux exigences de traitement des déchets seulement si ces molécules sont présentes à partir d'une certaine concentration seuil dans les déchets, seuil mentionné en annexe dans la réglementation.

En dessous de ce seuil, même si la molécule est présente, le déchet ne sera pas considéré comme un déchet POP.

En 2019, l'annexe IV intégrait 26 substances soumises (visibles dans le Tableau 6), 32 avec les dernières modifications, aux dispositions en matière de gestion des déchets prévues à l'article 7. Ainsi, les producteurs et détenteurs de déchets doivent éviter au maximum la contamination des déchets par ces substances. Dans le cas où des déchets sont tout de même contaminés par ces substances, ils seront alors éliminés ou valorisés sans retard injustifié et conformément à l'annexe V, partie 1, du présent règlement de manière à ce que les POP qu'ils contiennent soient détruits ou irréversiblement transformés. L'objectif à cette étape est que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. Il existe cependant des exceptions permettant d'éliminer ou de valoriser autrement les déchets contenant ces substances conformément à la législation de l'Union applicable en la matière, à condition que la teneur des déchets en substances figurant sur la liste soit inférieure aux limites de concentration fixées à l'annexe IV. En outre, l'annexe V, partie 2 détaille les méthodes spécifiques pour traiter les déchets qui contiennent ou sont contaminés par des substances énumérées à l'annexe IV. Cette annexe fixe des limites de concentration pour ces substances dans les déchets. Si ces limites sont respectées, les déchets peuvent être traités par des méthodes spécifiques, explicitées à l'article 7, (incinération, destruction chimique, etc.) pour minimiser les risques pour l'environnement et la santé humaine.

Ce règlement et ses annexes ont été modifiés par 9 règlements délégués entre 2020 et 2023 et par 4 rectificatifs, et applicable ainsi modifiés depuis le 10 juin 2023. Le **Règlement 2022/2400**²⁹ met à jour les annexes IV et V du règlement (UE) 2019/1021 concernant les POP, annexes qui déterminent comment les déchets POP sont traités, notamment s'ils peuvent être recyclés ou doivent être détruits. En particulier, il ajoute les substances suivantes, avec des limites de concentration les concernant : le pentachlorophénol, le dicofol, l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), ses sels et les composés apparentés au PFOA, l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS). En outre, ce nouveau règlement modifie certains seuils afin de mettre en place des seuils plus exigeants :

- Plusieurs substances perfluorées (PFOA et ses sels, PFHxS et ses sels) : 1mg/kg pour chacune des deux substances et leurs sels.
- Les paraffines chlorées à chaîne courte (C10-C13) : 1 500 mg/kg
- La somme des PBDE (tetra-, penta-, hexa-, hepta- et décaBDE) : 500mg/kg jusqu'à fin 2025, 350mg/kg jusqu'à fin 2027 et 200mg/kg après 2027, sachant qu'avant cette directive la limite était de 1 000mg/kg.
- L'hexabromocyclododécane (HBCD(D)) : 500mg/kg.

Le **Règlement délégué (UE) 2023/1608**³⁰ de la Commission a été publié le 8/08/2023 et modifie l'annexe I du règlement (UE) 2019/1021 en inscrivant le PFHxS, ses sels et les composés apparentés au PFHxS. Il fixe également une valeur limite pour la présence de ces composés sous forme de

²⁸ [Liste des substances soumises au règlement POP](#), ECHA

²⁹ [Regulation \(EU\) 2022/2400 of the European Parliament and of the Council of 23 November 2022 amending Annexes IV and V to Regulation \(EU\) 2019/1021 on persistent organic pollutants \(Text with EEA relevance\)](#), EUR-Lex

³⁰ [Commission Delegated Regulation \(EU\) 2023/1608 of 30 May 2023 amending Annex I to Regulation \(EU\) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council as regards the listing of perfluorohexane sulfonic acid \(PFHxS\), its salts and PFHxS-related compounds \(Text with EEA relevance\)](#), EUR-Lex

contaminant non intentionnel à l'état de trace : 0,025 mg/kg pour le PFHxS, y compris ses sels, et 1 mg/kg pour les composés apparentés au PFHxS ou une combinaison de ces composés.

Par ailleurs, le règlement POP prévoit un ensemble de mesures pour assurer la gestion adéquate des stocks de POP existants en tant que substances et produits. Cette gestion doit être sécurisée, efficace et écologiquement viable, englobant non seulement les stocks actuels mais aussi la disposition finale des déchets qui contiennent ou sont contaminés par des POP. Cela implique des procédures d'élimination et de décontamination qui ne permettent pas la libération de ces substances dans l'environnement, afin de boucler le cycle de vie de ces polluants de manière responsable.

La portée et la rigueur du règlement POP soulignent l'engagement de l'Union européenne à lutter contre les risques environnementaux et sanitaires associés aux POP. Cela reflète également l'objectif de l'UE d'être à l'avant-garde de la protection de l'environnement à l'échelle mondiale, en mettant en place des normes qui vont souvent au-delà des exigences minimales fixées par les accords internationaux.

Tableau 6 : Récapitulatif des substances mentionnées dans le Règlement POP (RECORD, 2024)

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
Aldrine (ALD)	309-00-2	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Chlordane (CHL)	57-74-9	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Chlordécone	143-50-0	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
DDT (1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)éthane)	50-29-3	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Dieldrine (DIE)	60-57-1	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Dicofol	115-32-2 et 10606-46-9	Pesticides	Interdit	18-août-2020	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Polychlorodibenzo-p-dioxines et dibenzofurannes (PCDD/PCDF)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	NA	29-avr.-2004	NA	NA	Annexe III, Partie A Annexe IV Annexe V
Endrine (END)	72-20-8	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Heptachlore (HEP)	76-44-8	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Hexabromobiphényle	36355-01-8	Produits chimiques industriels	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Hexabromocyclododécane (HBCD)	3194-55-6	Produits chimiques industriels	Interdit	01-mars-2016	Aucune	Les articles en polystyrène expansé qui contiennent de l'hexabromocyclododécane et qui sont déjà en usage dans les bâtiments avant le 21 février 2018 conformément au règlement (UE) 2016/293 de la Commission (5) et à la décision d'exécution 2016/C 12/06 de la Commission (6), et les articles en polystyrène extrudé qui contiennent de l'hexabromocyclododécane et	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
						qui sont déjà en usage dans les bâtiments avant le 23 juin 2016 peuvent continuer à être utilisés. L'article 4, paragraphe 2, troisième et quatrième alinéas, s'applique à ces articles. Sans préjudice de l'application d'autres dispositions de l'Union relatives à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des substances et des mélanges, le polystyrène expansé mis sur le marché après le 23 mars 2016 dans lequel de l'hexabromocyclododécane a été utilisé est identifiable par voie d'étiquetage ou par d'autres moyens durant tout son cycle de vie.	
Hexabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	Interdit	24-août-2010	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour : les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	L'utilisation d'articles qui contiennent de l'heptabromodiphényléther et qui étaient déjà utilisés dans l'Union avant le 25 août 2010 est autorisée. L'article 4, paragraphe 2, troisième et quatrième alinéas, s'applique pour ces articles.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Heptabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	Interdit	24-août-2010	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour : les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	L'utilisation d'articles qui contiennent de l'heptabromodiphényléther et qui étaient déjà utilisés dans l'Union avant le 25 août 2010 est autorisée. L'article 4, paragraphe 2, troisième et quatrième alinéas, s'applique pour ces articles.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Hexachlorobenzène (HCB)	118-74-1	Pesticides Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	L'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique à l'hexachlorobenzène en concentration égale ou inférieure à 10 mg/kg (0,001 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.	Annexe I, partie A Annexe III, partie B Annexe IV Annexe V, partie 2

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
Hexachlorobutadiène (HCBd)	87-68-3	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit	19-juin-2012	Aucune	L'utilisation et la mise sur le marché d'articles déjà utilisés le 10 juillet 2012 ou avant cette date et contenant de l'hexachlorobutadiène sont autorisées.	Annexe I, partie A Annexe III, partie B Annexe IV Annexe V, partie 2
Hexachlorocyclohexanes (HCH) (alpha, beta et gamma) y compris le lindane (CAS: 58-89-9)	608-73-1	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	NA	29-avr.-2004	NA	NA	Annexe III, partie B
Mirex (MIR)	2385-85-5	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Naphtalènes polychlorés (PCN) notamment les dichloronaphtalènes, trichloronaphtalènes, tétrachloronaphtalènes, pentachloronaphtalènes, hexachlorochloronaphtalènes et heptachloronaphtalènes et l'octachloronaphtalène	-	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit	19-juin-2012	Aucune	L'utilisation et la mise sur le marché d'articles déjà utilisés le 10 juillet 2012 ou avant cette date et contenant des naphtalènes polychlorés sont autorisées.	Annexe I, partie A Annexe III, partie B Annexe IV Annexe V, partie 2
Alcanes en C10-C13, chloro (Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP))	-	Produits chimiques industriels	Interdit au-dessus d'un seuil	Soumis à évaluation	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de substances ou mélanges contenant des PCCC en concentration inférieure à 1 % en masse, ou d'articles contenant des PCCC en concentration inférieure à 0,15 % en masse, est autorisée.	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de substances ou mélanges contenant des PCCC en concentration inférieure à 1 % en masse, ou d'articles contenant des PCCC en concentration inférieure à 0,15 % en masse, est autorisée.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Pentachlorobenzène (PeCB)	608-93-5	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit	24-août-2010	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe III, partie B Annexe IV Annexe V, partie 2
Pentachlorophénol et ses sels et esters (PCP)		Pesticides	Interdit au-dessus d'un seuil	20-juin-2019	Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique au pentachlorophénol et à ses sels et esters présents en	L'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique au pentachlorophénol et à ses sels et esters présents en concentration inférieure ou	Annexe I, partie A

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
					concentration inférieure ou égale à 5 mg/kg (0,0005 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles	égale à 5 mg/kg (0,0005 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.	
Acide perfluorooctanoïque (APFO/PFOA), ses sels et les composés apparentés	335-67-1	Produits chimiques industriels	Interdit au-dessus d'un seuil	15-juin-2020	<p>1. Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique au PFOA ou à ses sels en concentration inférieure ou égale à 0,025 mg/kg (0,0000025 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.</p> <p>2. Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique à tout composé apparenté au PFOA ou à toute combinaison de tels composés en concentration inférieure ou égale à 1 mg/kg (0,0001 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.</p> <p>3. Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique aux composés apparentés au PFOA en concentration inférieure ou égale à 20 mg/kg (0,002 % en masse) dans une substance destinée à être utilisée comme intermédiaire isolé transporté au sens de l'article 3, point 15) c), du règlement (CE) no 1907/2006 et dans le respect des conditions strictement contrôlées énoncées à l'article 18, paragraphe 4, points a) à f), de ce règlement en vue de la fabrication de produits chimiques fluorés constitués d'une chaîne carbonée perfluorée comportant jusqu'à 6 atomes de carbone.</p>	<p>Par dérogation, l'utilisation du PFOA, de ses sels et des composés apparentés au PFOA est autorisée, jusqu'au 4 juillet 2025, dans la mousse anti-incendie destinée à la suppression des vapeurs de combustibles liquides et à la lutte contre les feux de combustibles liquides (feux de classe B) qui est déjà contenue dans les systèmes, qu'ils soient mobiles ou fixes, sous réserve des conditions suivantes :</p> <p>a) Les mousses anti-incendie qui contiennent ou peuvent contenir du PFOA, ses sels et/ou des composés apparentés au PFOA ne sont pas utilisées pour la formation ;</p> <p>b) Les mousses anti-incendie qui contiennent ou peuvent contenir du PFOA, ses sels et/ou des composés apparentés au PFOA ne sont pas utilisées pour les essais, sauf si tous les rejets sont contenus ;</p> <p>c) A partir du 1er janvier 2023, les utilisations de mousses anti-incendie contenant ou pouvant contenir du PFOA, ses sels et/ou des composés apparentés au PFOA ne sont autorisées que sur les sites où il est possible de contenir tous les rejets ;</p>	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
						d) Les stocks de mousses anti-incendie qui contiennent ou peuvent contenir du PFOA, ses sels et/ou des composés apparentés au PFOA sont gérés conformément aux dispositions de l'article 5. Par dérogation, l'utilisation de bromure de perfluorooctyle contenant de l'iodure de perfluorooctyle en vue de la fabrication de produits pharmaceutiques est autorisée, sous réserve d'un réexamen et d'une évaluation par la Commission au plus tard le 31 décembre 2026, tous les quatre ans par la suite, puis au plus tard le 31 décembre 2036.	
Polychlorobiphényles (PCB)	-	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Sans préjudice de la directive 96/59/CE, l'utilisation des articles déjà en circulation au moment de l'entrée en vigueur du présent règlement est autorisée. Les États membres recensent et retirent de la circulation les équipements (par exemple, les transformateurs, condensateurs ou récipients analogues renfermant des stocks de liquides) qui contiennent un volume supérieur à 0,05 dm ³ de liquide dont la teneur en PCB est supérieure à 0,005 % dans les meilleurs délais et au plus tard le 31 décembre 2025.	Annexe I, partie A Annexe III, Annexe IV Annexe V
Acide perfluorooctane sulfonique et ses dérivés (PFOS)	-	Produits chimiques industriels	Interdit	24-août-2010	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Tetrabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	Interdit	24-août-2010	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour les équipements	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour les équipements électriques et	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
					électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	
Pentabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	Interdit	24-août-2010	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation sont autorisées pour les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Toxaphène (TOX)	8001-35-2	Pesticides	Interdit	29-avr.-2004	Aucune	Aucune	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Bis(pentabromophényl) éther (déca bromodiphényléther; décaBDE)	1163-19-5	Produits chimiques industriels	Interdit	20-juin-2019	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation du décaBDE sont autorisées aux fins suivantes, à condition que les États membres rendent compte à la Commission au plus tard en décembre 2019 conformément à la convention: a) dans la fabrication d'un aéronef, pour lequel l'homologation a été demandée avant le 2 mars 2019 et reçue avant décembre 2022, jusqu'au 18 décembre 2023 ou, en cas de besoin continu justifié, jusqu'au 2 mars 2027; b) dans la fabrication de pièces détachées pour l'un ou l'autre des produits suivants: i) un aéronef, pour lequel l'homologation a été demandée avant le 2 mars 2019 et reçue avant décembre 2022, produit avant le 18 décembre 2023 ou, en cas de besoin continu justifié, produit avant le 2 mars 2027, jusqu'à la fin de la durée de vie de l'aéronef; ii) les véhicules à moteur entrant dans le champ d'application de la directive 2007/46/CE du	Par dérogation, la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation du décaBDE sont autorisées aux fins suivantes, à condition que les États membres rendent compte à la Commission au plus tard en décembre 2019 conformément à la convention: a) dans la fabrication d'un aéronef, pour lequel l'homologation a été demandée avant le 2 mars 2019 et reçue avant décembre 2022, jusqu'au 18 décembre 2023 ou, en cas de besoin continu justifié, jusqu'au 2 mars 2027; b) dans la fabrication de pièces détachées pour l'un ou l'autre des produits suivants: i) un aéronef, pour lequel l'homologation a été demandée avant le 2 mars 2019 et reçue avant décembre 2022, produit avant le 18 décembre 2023 ou, en cas de besoin continu justifié, produit avant le 2 mars 2027, jusqu'à la fin de la durée de vie de l'aéronef; ii) les véhicules à moteur entrant dans le champ d'application de la directive 2007/46/CE du	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Règlement européen POP	Date d'inclusion dans la liste en UE	Dérogation de fabrication	Dérogation d'articles sur le marché	Annexe du Règlement européen POP concernant cette substance
					l'aéronef; ii) les véhicules à moteur entrant dans le champ d'application de la directive 2007/46/CE du Parlement européen et du Conseil (2), produits avant le 15 juillet 2019, jusqu'en 2036 ou jusqu'à la fin de la durée de vie de ces véhicules, à la première de ces deux échéances; c) les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	Parlement européen et du Conseil (2), produits avant le 15 juillet 2019, jusqu'en 2036 ou jusqu'à la fin de la durée de vie de ces véhicules, à la première de ces deux échéances; c) les équipements électriques et électroniques régis par la directive 2011/65/UE.	
Endosulfan	115- 29-7, 959-98-8 et No de CAS : 33213-65-9	Produits chimiques industriels	Interdit	19-juin-2012	Aucune	1. L'utilisation et la mise sur le marché d'articles déjà utilisés le 10 juillet 2012 ou avant cette date et dont l'endosulfan est l'un des constituants sont autorisées. 2. L'article 4, paragraphe 2, troisième et quatrième alinéas, s'applique aux articles visés au point 1.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2
Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés apparentés au PFHxS	355-46-4	Produits chimiques industriels	Interdit au-dessus d'un seuil	29-déc.-2022	Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique au PFHxS ou à ses sels en concentration inférieure ou égale à 0,025 mg/kg (0,0000025 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.	Aux fins de cette entrée, l'article 4, paragraphe 1, point b), s'applique au PFHxS ou à ses sels en concentration inférieure ou égale à 0,025 mg/kg (0,0000025 % en masse) dans des substances, des mélanges ou des articles.	Annexe I, partie A Annexe IV Annexe V, partie 2

Rôle de l'Union européenne dans la réglementation internationale des POP

Toute partie à la convention de Stockholm, y compris l'UE, peut proposer l'ajout d'un nouveau polluant organique persistant aux annexes de la convention. Pour ce faire, les États membres de l'UE peuvent transmettre leurs propositions à la Commission européenne. Ces dernières doivent permettre d'évaluer les propriétés de la substance au regard des critères de sélection énumérés à l'annexe D de la convention³¹. Ce processus est représenté dans la Figure 10.

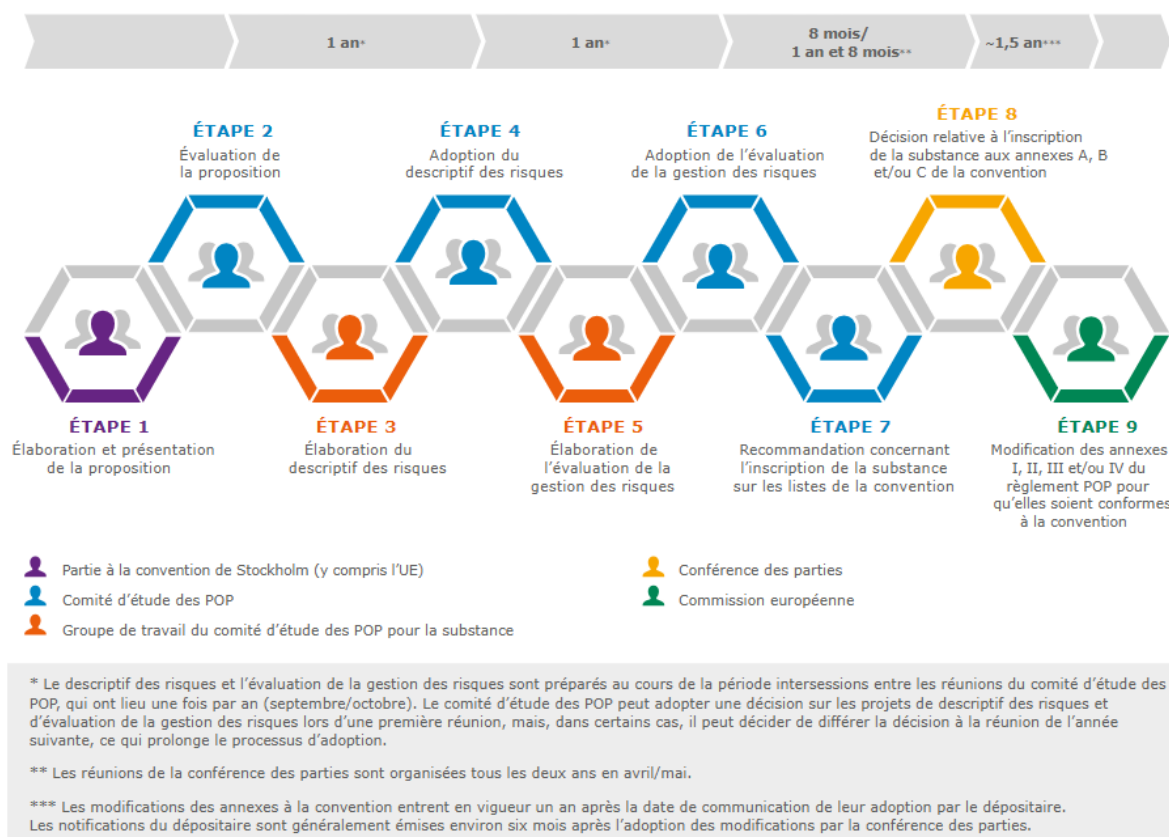


Figure 10 : Processus d'introduction de nouvelles substances aux listes des Annexes de la Convention POP et du Règlement POP (ECHA)

L'UE est à l'origine de plusieurs propositions d'ajout de substances POP dans les listes des Annexes de la Convention de Stockholm. Une fois intégrée dans les listes de la Convention, des discussions ont lieu pour les ajouter alors au Règlement POP européen, mais ce n'est pas systématique.

- En 2019, l'UE a proposé l'ajout du Méthoxychlor à la liste de l'Annexe D de la Convention POP³², cette proposition a été acceptée en 2023.
- En 2020, l'UE a proposé l'ajout du Chlorpyrifos, un biocide dans la liste de l'Annexe A de la Convention POP³³. Le profil de risque pour le Chlorpyrifos a été adopté lors de la 19^{ème} réunion du Comité d'examen des POP. Le produit chimique sera désormais pris en considération pour recommandation lors de la prochaine réunion du POPRC³⁴.
- Une proposition est en cours de préparation par l'UE pour l'ajout de l'octaméthylcyclotetrasiloxane (D4), du decaméthylcyclopentasiloxane (D5) et du dodecaméthylcyclohexasiloxane (D6) dans la liste de la Convention POP.

Autres textes réglementaires européens

- Le règlement 1907/2006 dit REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques, en anglais : Registration, Evaluation,

³¹ Propositions de nouveaux POP, ECHA

³² Liste des substances dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée, ECHA

³³ Draft proposal for listing chlorpyrifos in Annex A to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, ECHA

³⁴ Liste des substances dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée, ECHA

Authorization and restriction of CHemicals)^{35,36} impose aux entreprises de gérer les risques associés à ces substances et de fournir des informations sur leur sécurité. Par exemple, les entreprises doivent enregistrer toute substance fabriquée ou importée en quantités supérieures à une tonne par an. REACH encourage également l'utilisation de méthodes alternatives pour évaluer les dangers des substances et vise à réduire progressivement les substances chimiques les plus dangereuses du marché européen. REACH a également introduit le concept de substances extrêmement préoccupantes (SVHC), qui inclut les substances classées comme cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, ainsi que les substances persistantes, bioaccumulables et toxiques (PBT), ou très persistantes et très bioaccumulables (vPvB).

- Les substances PBT sont des substances qui persistent longtemps dans l'environnement, s'accumulent dans les organismes vivants et présentent des risques de toxicité pour la santé humaine ou l'environnement.
 - Les substances vPvB sont encore plus préoccupantes car elles sont non seulement très persistantes dans l'environnement, mais également très bioaccumulables, ce qui signifie qu'elles s'accumulent à des niveaux dangereux dans les chaînes alimentaires, avec des effets difficilement réversibles.
- La **directive 2008/98/CE**³⁷ du 19 novembre 2008 modifiée relative aux déchets établit au sein de l'Union européenne via plusieurs articles des dispositions spécifiques pour la gestion des déchets dangereux. Elle impose aux États membres l'obligation d'adopter les mesures nécessaires pour que les établissements et entreprises impliqués dans l'élimination, la valorisation, la collecte ou le transport de ces déchets s'abstiennent de mélanger différentes catégories de déchets dangereux entre elles, ainsi que de mélanger des déchets dangereux avec des déchets non dangereux.
 - Le **règlement (CE) n° 1272/2008**³⁸ relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage (CLP) repose sur le système général harmonisé des Nations unies (SGH) et a pour objet d'assurer un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement, ainsi que la libre circulation des substances, des mélanges et des articles.
 - La **Commission Regulation (UE) 2023/915 du 25 avril 2023**, relative aux niveaux maximums de certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) n° 1881/2006, vise à protéger la santé publique en limitant la présence de substances nocives dans les aliments. Ce règlement fixe des seuils stricts pour les contaminants tels que les métaux lourds, les mycotoxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et d'autres substances potentiellement dangereuses, qui peuvent être présents dans l'alimentation humaine.
 - Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) sont actuellement fortement étudiées car il existe un enjeu de définir quelles substances pourraient être définies comme des POP en raison de leurs propriétés similaires : ils sont tous deux extrêmement durables, se dégradent très lentement dans l'environnement et peuvent s'accumuler dans les organismes vivants. Cependant, les PFAS ne sont pas tous classés comme POP. La **réglementation européenne sur les PFAS**³⁹ est en cours de développement, à ce jour seules trois substances parmi les PFAS sont incluses dans le règlement. L'Union européenne a reconnu les PFAS comme une préoccupation majeure en raison de leur persistance dans l'environnement et de leur potentiel de bioaccumulation. En réponse, la Commission européenne travaille sur une stratégie pour limiter l'utilisation et la libération de ces substances. Cela pourrait inclure des restrictions ou des interdictions dans le cadre de la réglementation REACH. Cette interdiction est intéressante à

³⁵ [Comprendre REACH](#), ECHA

³⁶ [Regulation \(EC\) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals \(REACH\), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation \(EEC\) No 793/93 and Commission Regulation \(EC\) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC](#)

³⁷ [Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives \(Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE\)](#), EUR-Lex

³⁸ [Comprendre le CLP](#), ECHA

³⁹ [Substances per- et polyfluoroalkylées \(PFAS\)](#), ECHA

noter car, là où les interdictions étaient molécules par molécules (PHOA, PFOS, PFHxS), ici, il s'agirait d'exclure une famille entière de substances, soit au moins 256 produits industriellement, mais il pourrait en exister entre 4000 et 14 000⁴⁰.

2.2.1.3 Contextes réglementaires nationaux

Le contexte réglementaire des pays de l'UE est caractérisé par une harmonisation juridique qui s'articule autour des règlements européens et de la transposition des directives européennes en droit national des États membres. En particulier, le règlement (UE) 2019/1021 est intégré dans la législation de chaque État membre assurant une approche cohérente et efficace de la gestion de ces substances dangereuses dans l'UE.

Cas de la France

En France, la législation sur les POP est alignée sur les réglementations de l'UE, notamment le règlement (UE) 2019/1021. Le protocole d'Aarhus est transposée dans **la loi n° 2002-285 du 28 février 2002** autorisant l'approbation de la convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement⁴¹ et dans le **décret n° 2002-1187 du 12 septembre 2002** portant publication de la convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement (ensemble deux annexes), faite à Aarhus le 25 juin 1998⁴².

La France a mis en place des mesures spécifiques pour la gestion et l'élimination des déchets POP, ainsi que pour le contrôle des émissions non intentionnelles de ces substances. Elle s'engage également à surveiller et réduire les risques associés aux POP dans divers secteurs, notamment l'agriculture, l'industrie et la gestion des déchets.

Autres pays de l'UE

Le Règlement (UE) 2019/1021 est directement applicable dans tous les États membres de l'UE. Cela signifie que les dispositions du règlement sont obligatoires et doivent être respectées par tous les États membres sans nécessité d'une transposition dans la législation nationale. Toutefois, il peut y avoir des différences dans la manière dont chaque État membre met en œuvre et applique ces règles. Ces différences peuvent inclure :

- **Mesures de contrôle et d'application** : chaque État membre est responsable de l'application et du contrôle du respect de ce règlement. Les mécanismes de contrôle, la fréquence des inspections et la sévérité des sanctions en cas de non-conformité peuvent varier d'un pays à l'autre.
- **Gestion des exceptions et exemptions** : bien que le règlement prévoit certaines interdictions et restrictions, il permet également des exceptions et des exemptions sous certaines conditions. La manière dont ces exceptions sont gérées peut différer selon les pays, en fonction des besoins et des circonstances spécifiques.
- **Mesures Supplémentaires** : certains États membres peuvent adopter des mesures supplémentaires qui vont au-delà des exigences du règlement de l'UE, par exemple, en

⁴⁰ [Per- et polyfluoroalkylées \(PFAS\) Pollution et dépendance : comment faire marche arrière](#), Actu-Environnement

⁴¹ [LOI n° 2002-285 du 28 février 2002 autorisant l'approbation de la convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement \(ensemble deux annexes\)](#), EUR-Lex

⁴² [LOI n° 2002-285 du 28 février 2002 autorisant l'approbation de la convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement \(ensemble deux annexes\)](#), EUR-Lex

interdisant des substances supplémentaires ou en mettant en œuvre des réglementations plus strictes pour la protection de l'environnement et de la santé humaine.

- **Capacités de surveillance et de recherche** : les capacités et les ressources consacrées à la surveillance environnementale et à la recherche sur les POP peuvent varier, ce qui peut influencer la manière dont les substances sont surveillées et les données sont collectées.
- **Coopération et coordination Intersectorielles** : la coopération entre différentes agences et ministères (par exemple, environnement, santé, industrie) dans l'application du règlement peut varier, affectant l'efficacité de sa mise en œuvre.

La Réglementation POP va plus loin dans certains pays de l'UE. Parmi les pays plus exigeants sur les POP dans les produits ou déchets⁴³, l'Allemagne dispose de valeurs réglementaires en ce qui concerne les PBDD/F en complément des PCDD/F qui sont déjà classés POP. Des valeurs limites existent pour la quantité de PBDD/F contenus dans « les substances, les préparations et les articles mis sur le marché » (ex : plastiques)⁴⁴.

Pays tiers membres de la Convention de Stockholm

La réglementation internationale sur les POP s'est considérablement développée et harmonisée au fil des ans pour faire face aux défis environnementaux et sanitaires posés par ces substances toxiques.

La Convention de Stockholm sur les POP est un traité international qui guide les politiques dans de nombreux pays hors de l'UE, en exigeant des mesures pour éliminer ou restreindre la production et l'utilisation des POP. Cependant, l'adhésion et la mise en œuvre de la Convention varient, ce qui entraîne des différences significatives dans la manière dont les POP sont réglementés à l'échelle mondiale. Hors de l'Union européenne, le contexte réglementaire varie considérablement en fonction des engagements internationaux des pays et de leurs propres politiques environnementales.

- Bien que n'étant pas membre de l'UE, la **Norvège** suit les directives internationales comme celles de la Convention de Stockholm et a mis en place des réglementations nationales pour contrôler les POP. La Norvège est à l'origine de la soumission de plusieurs propositions récentes d'ajout de substances dans la Convention de Stockholm en vue de leur interdiction. Le "Dechlorane Plus"TM et l'acide perfluorohexanesulfonique (PFHxS) ont ainsi été ajoutés à la liste de la Convention POP et du Règlement POP⁴⁵.
- La **Suisse** a intégré les directives de la Convention de Stockholm dans sa législation nationale, réglementant ainsi strictement l'utilisation, la production, l'importation et l'exportation des POP. La **Suisse** est à l'origine de l'ajout du 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-diterpentylphénol (aussi appelé UV-328) à la liste de la Convention de Stockholm⁴⁶.
- Le **Canada**, signataire de la Convention de Stockholm, a mis en œuvre des mesures législatives nationales pour gérer les POP, notamment à travers la Loi sur les substances toxiques. En 2021, le **Canada** a soumis une proposition pour inscrire les acides perfluorocarboxyliques à chaîne longue (C9–C21) (PFCAs), leurs sels et composés apparentés dans les Annexes A, B et/ou C de la Convention de Stockholm sur les POP⁴⁷. L'évaluation des risques des PFCAs est en cours auprès de la Convention POP.
- Aux **États-Unis**, le Toxic Substances Control Act (TSCA), en vigueur depuis 1976 et mis à jour en 2016, autorise l'EPA à réglementer les produits chimiques, y compris certains POP, afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Ce cadre inclut des substances comme les PCB, les dioxines et les furanes, avec des seuils spécifiques pour certaines substances⁴⁸. En outre, les PFAS ne sont pas un sujet qu'en Europe, les États-Unis sont actuellement très actifs sur le sujet eux aussi.
- Au **Japon**, la loi LERCS de 1973 et l'Act on the Regulation of Manufacture and Evaluation of Chemical Substances de 2018 fournissent un cadre juridique pour la réglementation des POP,

⁴³ Des recherches ont été effectuées sur d'autres pays dont les Pays-Bas et l'Europe du Nord.

⁴⁴ [Expositions aux dioxines et furanes bromés : synthèse des données disponibles : sources, émissions, exposition et toxicité pour l'homme](#), INERIS, 2020

⁴⁵ [Liste des substances dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée](#), ECHA

⁴⁶ [Liste des substances dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée](#), ECHA

⁴⁷ [Long-chain perfluorocarboxylic acids, their salts and related compounds](#), ECHA

⁴⁸ [Summary of the Toxic Substances Control Act](#), EPA

avec des interdictions strictes pour des produits chimiques de classe 1 tels que l'aldrine et les PCB⁴⁹.

- En **Chine**, une annonce réglementaire de 2022 spécifie des exigences pour l'élimination ou la restriction de cinq POP, décaBDE, HCB, PCP, PCN, et SCCP (décabromodiphényléther, l'hexachlorobutadiène, le pentachlorophénol, naphtalènes polychlorés, paraffines chlorées à chaîne courte), avec des mesures d'interdiction pour la production, l'utilisation et l'import-export de ces substances⁵⁰.
- L'**Inde**, via le Ministère de l'Environnement, des Forêts et du Changement Climatique (MoEFCC), a mis en place en 2018 des règles interdisant la fabrication et l'importation de sept produits chimiques POP, avec des obligations pour les industries de déclarer leur utilisation et leur stock et de gérer les déchets conformément à des règles spécifiques⁵¹.
- L'**Indonésie**, avec le Government Regulation 101 et le Government Regulation 74, gère les déchets de substances dangereuses et toxiques, y compris les POP, pour prévenir la contamination environnementale et les dommages sanitaires⁵².
- Aux **Maldives**, le National Implementation Plan (NIP) pour la Convention de Stockholm, soumis en 2017, vise à réduire le risque des POP sur la santé humaine et l'environnement, et inclut des plans pour l'élimination des équipements contenant des PCB d'ici 2025⁵³.
- Le **Vietnam** propose une réglementation technique pour réguler plusieurs POP en fixant des limites maximales admissibles pour ces substances dans divers produits, montrant ainsi l'évolution des politiques locales en réponse aux conventions internationales⁵⁴.

Cette synthèse mondiale (non exhaustive) montre l'engagement croissant des nations à mettre en place des réglementations strictes et à jour pour combattre les risques posés par les POP, reflétant un effort concerté pour une meilleure gestion environnementale et la protection de la santé publique.

⁴⁹ Experiences on persistent organic pollutants under the Law concerning the Examination and Regulation of Manufacture, etc. of Chemical Substances, Japan, with references to biodegradation and bioaccumulation, Ikeda M. et al, 2001

⁵⁰ [China - Banning Five Persistent Organic Pollutants](#), TUV / [China's MEE Prohibits Five POPs including Short-chain Chlorinated Paraffins](#), CIRS, 2023

⁵¹ [Digital Repository of Laws - A System of Laws for Communication](#), India Code / [Regulation of Persistent Organic Pollutants Rules, 2018](#), UNEP

⁵² [Regulatory Challenges in the Phasing-Out of Persistent Organic Pollutants in Indonesia](#), Lexxion the legal publisher

⁵³ [Eliminating Persistent Organic Pollutants \(POPs\) through sound management of chemicals](#), UNDP

⁵⁴ [Vietnam Proposes Technical Regulation for Persistent Organic Pollutants](#), SGS, 2022

Tableau 7 : Récapitulatif des législations de certains pays tiers sur les POP dans les produits-déchets (source : textes réglementaires / IEC) (NB : en l'état actuel des connaissances) (RECORD, 2024)

Pays	Textes de loi	Date de publication	Substances POP concernés <i>Liste non exhaustive</i>	Nombre de POP interdits	Produits-Déchets indiqués	Signataire de la convention de Stockholm	Signataire du protocole d'Aarhus
Etats-Unis	Toxic Substances Control Act (TSCA)	1976	PCB, dioxines, furanes	Plus de 30	Tous les déchets contenant les substances réglementées	Oui	Oui
Chine	Law on Prevention and Control of Environmental Pollution by Solid Wastes	2020	PFOS, PFOA, PCB, DDT, et d'autres substances identifiées sous la Convention de Stockholm	22	Déchets électroniques, déchets industriels	Oui	Non
Japon	Loi LERCS Act on the Regulation of Manufacture and Evaluation of Chemical Substances	1973 2018	Aldrine, chlordanes, DDT, dieldrine, endrine, HCB, PCB, naphthalène polychloré, oxyde de bis(tributylétain)	24	Déchets industriels, déchets ménagers	Oui	Non
Canada	Canadian Environmental Protection Act (CEPA)	1999	PCB, DDT, HCH, chlordane, Mirex, toxaphène, et autres selon la Convention de Stockholm	Plus de 30	Déchets industriels, équipements électriques et électroniques	Oui	Oui
Australie	National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS)	1990	PFOA, dioxine, furane, PCB	23	Déchets dangereux, déchets ménagers et industriels	Oui	Non
Brésil	National Plan for the Implementation of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants	2015	PBDE, PFOS, PCB, HBCD, PFOA, Dicofol	26	Déchets ménagers, déchets industriels, DEEE	Oui	Non

2.2.2 Des réglementations en constante évolutions qui tendent à se durcir

Les réglementations concernant les POP à l'échelle internationale, européenne et nationale, ont connu des évolutions significatives. L'évolution des réglementations sur les POP montre une tendance vers des normes plus strictes, reflétée par la frise chronologique de la Figure 11.

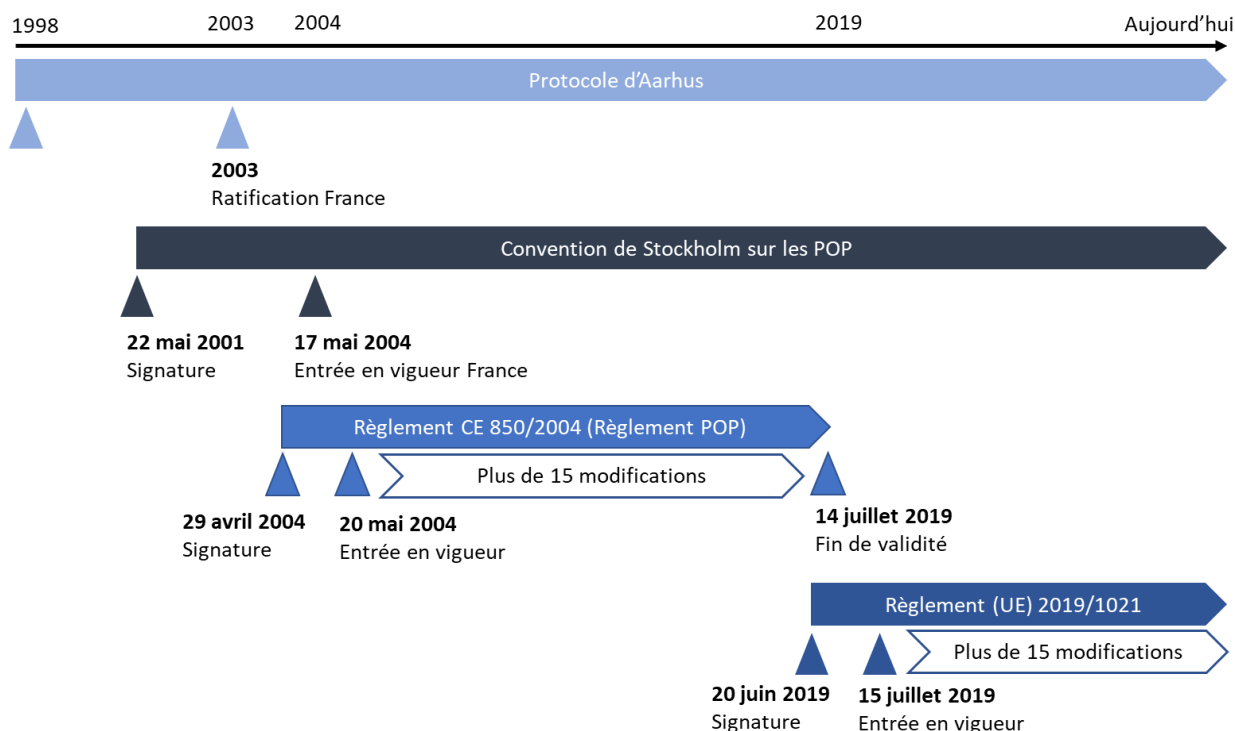


Figure 11 : Frise chronologique des réglementations internationales et européennes sur les POP (RECORD, 2024)

À l'échelle de l'Union européenne, le renforcement réglementaire est évident avec l'intégration de substances additionnelles à la liste des POP interdits dans le Règlement (UE) 2019/1021, qui est entré en vigueur le 15 juillet 2019⁵⁵. Ces mesures reflètent un alignement avec les ambitions internationales, comme celles stipulées dans la Convention de Stockholm, qui a élargi sa liste de POP interdits en reconnaissant de nouvelles substances dangereuses (voir Figure 12)⁵⁶.

⁵⁵ [Waste containing POPs](#), European Commission

⁵⁶ [Persistent Organic Pollutants \(POPs\) Regulation: An Essential Guide](#), Compliance gate

Tableau 8 : Tableau comparatif des substances listées dans le Protocole POP, la Convention POP et le Règlement POP (RECORD, 2024)

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Protocole d'Aarhus 1998	Convention de Stockholm 2001	Règlement européen POP de 2023
Aldrine (ALD)	309-00-2	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Chlordane (CHL)	57-74-9	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Chlordécone	143-50-0	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2009	Interdit en 2004
DDT (DDT)	50-29-3	Pesticides	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Dieldrine (DIE)	60-57-1	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Dicofol	115-32-2 et 10606-46-9	Pesticides	-	Interdit en 2019	Interdit en 2020
Dioxines (PCDD)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1990	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Endrine (END)	72-20-8	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Furanes (PCDF)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1990	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Heptachlore (HEP)	76-44-8	Pesticides	Production interdite en 1998 et utilisation restreinte en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdite en 2009	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Hexabromobiphényle	36355-01-8	Produits industriels chimiques	Interdit en 2003	Interdit en 2009	Interdit en 2004
Hexabromocyclododécane (HBCD)	-	Produits industriels chimiques	-	Interdit en 2013	Interdit en 2016
Hexabromodiphényléther et heptabromodiphényléther	-	Produits industriels chimiques	Interdit, utilisation restreinte en 2009	Interdit en 2009	Interdit en 2010
Hexachlorobenzène (HCB)	118-74-1	Pesticides Produits industriels Sous-produits/contaminants involontaires	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	Interdit en 2001	Interdit en 2004

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Protocole d'Aarhus 1998	Convention de Stockholm 2001	Règlement européen POP de 2023
Hexachlorobutadiène (HCBd)	87-68-3	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit en 2023	Interdit en 2015	Interdit en 2012
Hexachlorocyclohexanes (HCH) (alpha, beta et gamma) y compris le lindane (CAS: 58-89-9)	608-73-1	Pesticides	Interdit en 2023, sauf pour l'isomère gamma du lindane	Interdit en 2009	Interdit en 2004
Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	Surveillance, réduction et limitation des émissions en dessous de celles de 1991	-	Interdit en 2004
Mirex (MIR)	2385-85-5	Pesticides	Interdit en 2003	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Naphtalènes polychlorés (PCN)	-	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit en 2023	Interdit en 2015	Interdit en 2012
Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP)	-	Produits chimiques industriels	Interdit sauf exception en 2023	Interdit en 2017	Interdit au-dessus d'un seuil
Pentachlorobenzène (PeCB)	608-93-5	Sous-produits/contaminants involontaires	Interdit en 2023	Interdit	Interdit en 2010
Pentachlorophénol et ses sels et esters (PCP)			-	-	Interdit au-dessus d'un seuil
Perfluorooctanoïde (PFOA) - acide perfluorooctanoïque (APFO), ses sels et les composés apparentés	335-67-1		-	Interdit en 2019	Interdit au-dessus d'un seuil
Polychlorobiphényles (PCB)	-	Produits chimiques industriels Sous-produits/contaminants involontaires	Restreint en vue d'une interdiction future en 1998 puis interdit en 2009	Interdit en 2001	Interdit en 2004
Sulfonates de perfluorooctane (PFOS)	-	Produits chimiques industriels	Interdit sauf exception en 2023	Interdit en 2009	Interdit en 2010
Tetrabromodiphényléther et pentabromodiphényléther	-	Produits chimiques industriels	Interdit, utilisation restreinte en 2009	Interdit en 2009	Interdit en 2010
Toxaphène (TOX)	8001-35-2	Pesticides	Interdit	Interdit en 2001	Interdit en 2004

Nom complet de la substance et acronyme	CAS	Catégorie	Protocole d'Aarhus 1998	Convention de Stockholm 2001	Règlement européen POP de 2023
Décabromodiphényléther (décaBDE ou BDE209) du décabromodiphényléther commercial	1163-19-5		-	Interdit en 2017	Interdit en 2019 au-dessus d'un seuil Seuil à 1 000 ppm pour l'ensemble des PBDE
Endosulfan technique et et isomères de l'endosulfan	115- 29-7, 959-98-8 et No de CAS : 33213-65-9		-	Interdit en 2011	Interdit en 2012
Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés apparentés au PFHxS	355-46-4		-	Interdit en 2023	Interdit en 2022 au-dessus d'un seuil

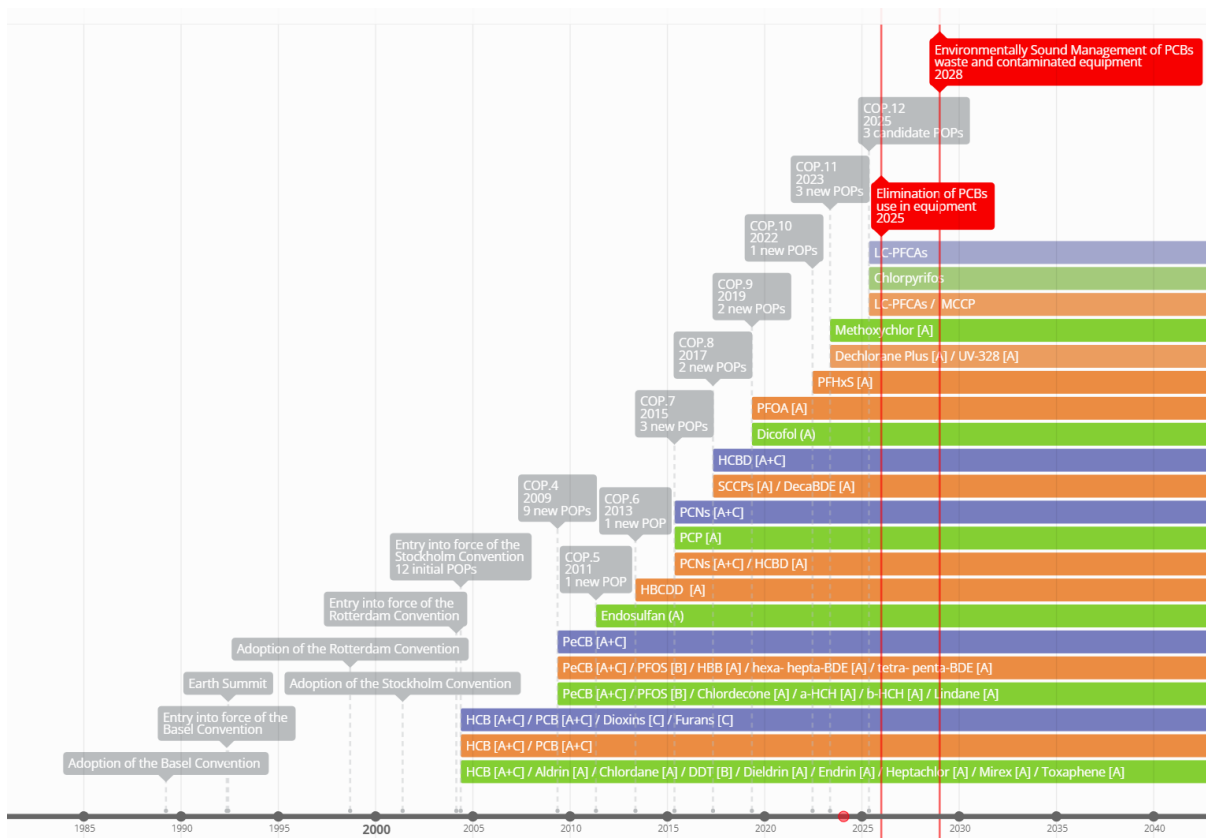


Figure 12 : Frise chronologique des POP intégrés à la convention de Stockholm (UNEP⁵⁷)
 Légende : émissions industrielles en orange, émissions des pesticides en vert et émissions non intentionnelles en bleu ; pour les lettres : A = Elimination, B = Restriction, C = Unintentional production.

2.2.3 Les limites des réglementations en lien avec les déchets et produits contenant des POP

Les réglementations européennes exigent que les déchets contenant des POP soient gérés de manière à minimiser, voire à éliminer, leurs émissions. Cependant, des défis demeurent quant à l'identification des produits contenant des POP, où les cadres de suivi et de contrôle ne sont pas toujours clairement définis ou systématiquement mis en œuvre sur le terrain. En outre, l'identification et la caractérisation de ces substances dans les produits avant qu'ils ne deviennent des déchets reste complexe. Par exemple, la présence de PFOS dans les revêtements de surface pour textiles et papiers nécessite une surveillance attentive pour assurer la conformité avec les seuils définis par l'UE⁵⁸.

Si les réglementations mettent en place des valeurs de seuils pour la présence de POP dans les déchets, l'enjeu pour leur gestion est principalement d'ordre opérationnelle. En effet, les campagnes de caractérisation des déchets, bien qu'essentielles pour mieux comprendre la composition des déchets et optimiser leur gestion, sont souvent complexes et longues à mettre en place. La mise en œuvre de ces études nécessite des ressources humaines et techniques importantes, et les protocoles ne sont pas toujours disponibles ou, lorsqu'ils existent, peuvent s'avérer peu fiables. En outre, le coût élevé de ces processus freine leur adoption, car peu d'acteurs sont prêts à supporter la charge financière. Cela conduit à un décalage entre la nécessité de données précises sur les déchets et la capacité opérationnelle à les obtenir, compromettant ainsi l'efficacité globale des politiques de gestion des déchets. ainsi, malgré les réglementations mises en place, elles doivent être suivi opérationnellement afin d'obtenir une cohérence entre le réglementaire et la pratique.

Une limite notable des réglementations actuelles concernant les POP réside dans l'établissement et l'application sur le terrain des seuils quantitatifs réglementaires déterminant la classification d'un déchet comme un déchet POP. Bien que ces seuils soient essentiels pour distinguer les déchets nécessitant une attention particulière des autres, l'élaboration de ces critères quantitatifs est souvent entravée par des freins scientifiques (existence d'une méthode d'analyse robuste pour la quantification des POP dans diverses matrices), techniques (accessibilité/facilité de la méthodologie d'analyse pour déterminer les

⁵⁷ [Why do persistent organic pollutants matter?](#), UNEP

⁵⁸ [Persistent Organic Pollutants \(POPs\) Regulation: An Essential Guide](#), Compliance gate

teneurs en POP dans les lots de déchets reçus, représentativité des lots échantillonnés, variations dans les capacités de mesure entre les pays, etc.) et des différences dans les approches réglementaires (seuils variables selon les pays). Cela conduit à une hétérogénéité dans la gestion des déchets POP à l'échelle mondiale, avec des risques accrus de non-conformité et de libération involontaire de substances nocives dans l'environnement. De plus, une difficulté majeure liée aux POP dans les produits réside dans le respect des normes européennes pour les biens importés. L'Union européenne a mis en place des mesures rigoureuses concernant les risques liés à ces substances, et sa législation est incontestablement la plus avancée en la matière. Néanmoins, des POP continuent d'arriver sur notre territoire par le biais d'importations de produits provenant de pays dont les réglementations sur les substances chimiques sont moins développées. Il est, en effet, impossible de contrôler exhaustivement tous les produits importés en raison de leur diversité, de leur quantité et des moyens analytiques limités. Cette situation complexifie davantage la gestion et la régulation des POP à l'échelle européenne, ajoutant un niveau supplémentaire de défi pour assurer la conformité et la protection de l'environnement.

Une limite présente dans la réglementation concerne les enjeux liés aux seuils. Juridiquement, il est question de la fréquence d'évaluation ou de réévaluation des seuils afin d'imposer une réglementation adaptée (abaissement d'un seuil existant, ou détermination d'un seuil pour une nouvelle substance POP). Cependant, si les seuils peuvent être de plus en plus contraignant, les méthodes de détection ou de caractérisation de la présence des POP peuvent être limitantes à deux niveaux :

- Au niveau de la caractérisation par échantillonnage et analyse chimique par chromatographie pour identifier les POP précisément
- Au niveau des tris permettant d'éliminer les matériaux des POP de ceux qui ne sont pas POP pour permettre une contribution de ces matériaux à l'économie circulaire.

Ainsi, les seuils doivent être en adéquation avec les questions de toxicité et de caractérisation mais également de possibilité de tri. Le cas échéant, tous les déchets devraient être caractérisés comme déchets POP et traités spécifiquement avec la prise en compte du risque de contenir des POP. De plus, il est difficile de traiter correctement un déchet car ils sont par nature des mélanges de milliers d'articles divers. Un exemple pertinent est celui des retardateurs de flamme bromés dans les plastiques car bien que des seuils aient été fixés, les équipements nécessaires pour leur détection ne sont pas toujours suffisamment avancés. Cette situation illustre les défis techniques considérables associés à l'application des réglementations sur les POP.

Une dernière limite sur les seuils comprend le périmètre d'application de ces seuils. En effet, il est sujet de détruire les déchets contenant des POP mais tant qu'ils sont en usage, il n'y a pas de contraintes sur ces produits alors que les risques pour certains produits sont les plus importants lors de leur usage.

En Europe, l'évaluation des risques des substances « candidates » à la dénomination de POP est effectuée par le Comité d'évaluation des risques des POP (POPRC)⁵⁹. Le suivi de la mise en application des contraintes réglementaires par les différents États membres est quant à lui coordonné par le Forum d'échange d'informations sur l'application des règlements de l'ECHA, afin de garantir l'efficacité de la réglementation européenne sur le terrain.

Dans le cadre du pacte vert et du plan d'action pour une économie circulaire, l'UE a modifié les seuils limites avec des limites plus faibles pour une série de POP que ce soit pour les produits ou les déchets. Les produits chimiques mentionnés dans la réglementation révisée de l'UE sur les POP dans les déchets incluent le PFOA, les PBDE, l'Hexabromocyclododécane (HBCDD), les SCCP, les PCDD/F, les PCB, et le PFHxS et ses sels et composés associés⁶⁰. Ces révisions visent à réduire la concentration de substances dangereuses dans les déchets et les procédés de production, reflétant une gestion plus rigoureuse des déchets contenant des POP et en particulier des substances perfluorées comme le PFHxS (ajoutées à la liste des substances dangereuses sous la Convention de Stockholm en juin 2022⁶¹).

À l'échelle internationale, la Convention de Stockholm continue de jouer un rôle clé en initiant des appels internationaux pour la génération et le rassemblement d'informations sur la gestion des risques environnementaux et sanitaires des POP, ainsi que sur la recherche d'alternatives aux POP, renforçant ainsi la coopération scientifique et la cohérence réglementaire entre les pays signataires.

⁵⁹ [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants \(POPs\)](#)

⁶⁰ [Persistent pollutants: EU acts to reduce harmful chemicals](#), European Parliament

⁶¹ [Persistent pollutants: EU acts to reduce harmful chemicals](#), European Parliament

2.3 État de l'art des connaissances scientifiques

Comprendre les interactions entre les POP et leurs vecteurs est essentiel pour appréhender leur impact sur l'environnement et la santé publique. Ces "couples" POP/produits-déchets, qui associent des POP à des produits ou déchets dans lesquels ils sont fréquemment retrouvés, sont cruciaux car ils mettent en lumière les chemins par lesquels les POP s'introduisent dans les écosystèmes. En cela, ils représentent les principaux défis liés à la contamination persistante et leur compréhension est essentielle pour continuer à développer des stratégies efficaces de gestion et de traitement des déchets, évitant ainsi leur conversion en vecteurs de pollution en fin de vie.

2.3.1 Un intérêt relatif des enjeux des POP dans les produits/déchets reflété dans la littérature scientifique analysée

La problématique d'identification et de la gestion des POP lorsqu'ils sont présents dans les produits et les déchets générés est complexe et a suscité un intérêt modéré, comme en témoigne la littérature scientifique sur le sujet. Une revue semi-exhaustive de la recherche scientifique révèle l'existence d'au moins une centaine de publications qui abordent les problématiques liées à la corrélation entre les POP et leur présence dans les produits et déchets. Bien que cette thématique ne soit pas le cœur des préoccupations liées aux POP (majoritairement focalisées sur les dangers toxiques et écotoxicologiques qu'ils représentent), sa pertinence est indéniable et fait l'objet d'une attention croissante dans les études environnementales et de santé publique.

Pour identifier les publications en lien avec les POP dans les produits-déchets les contenant, des recherches ont été effectuées sur des bases de données de littérature scientifique comme Google Scholar, Science Direct, Scopus ou encore le site CORDIS des projets financés l'Union Européenne. Afin d'obtenir des documents pertinents, les mots clés employés pour les recherches devaient définir clairement le périmètre. Ont été utilisés, entre autres, les boucles de mots clés suivants :

- « Persistent organic pollutant » OR POP) AND waste
- « Persistent organic pollutants in waste » OR « POP in waste »
- POP AND WEEE
- PCB AND waste
- HAP AND waste
- Etc.

Cette analyse bibliographique se focalise sur la gestion des déchets POP, étant donné que l'objectif principal de l'étude est bien d'approfondir les connaissances sur les problématiques rencontrées lors de cette gestion et les solutions existantes.

Plus loin dans ce rapport, dans la section 3, les recherches effectuées visent à identifier de manière plus exhaustive les produits et déchets concernés par la présence de POP et, si possible, de leurs concentrations dans ces produits/déchets. Dans le cadre de cette seconde analyse bibliographique, les mots-clés utilisés ne se limitent alors pas à des déchets.

Si ces mots clés ont permis de réaliser un premier tri dans la littérature scientifique, il a ensuite été question d'identifier les sujets de recherches pertinents. Parmi les thématiques étudiées, se retrouvent, entre autres, les questions de recherches suivantes :

- Quantification de POP autour de centres de traitement ou recyclage dans sol/eau/air/biodiversité,
- Focus sur la gestion et le traitement des DEEE lors de leurs recyclages,
- Techniques de traitement des émissions de POP lors incinération,
- Détection, identification ou quantification des POP présents dans les retardateurs de flammes,
- Etc.

2.3.1.1 La répartition géographique des publications étudiées

Si les POP sont un sujet mondial de par leur définition, transportables sur de longues distances, tous les pays ne s'intéressent pas au sujet de la même manière. La couverture géographique des documents analysés est variée (voir Figure 13) et n'a en réalité souvent pas de portée territoriale précise. Il est par exemple fréquent de trouver des revues de littérature à portée mondiale traitant du sujet des POP. La Chine a cependant généré un grand nombre d'études à portée locale ou nationale, à l'image des 30 % de documents de la base de données, portant sur l'impact territorial de la gestion de déchets contenant des POP, notamment autour de centres de recyclage et d'incinération de déchets spécifiques sur son

territoire, dénotant d'une problématique montante de l'impact sur leur population et de la gestion des déchets. Enfin, l'impact des POP dans les déchets en Europe n'est pas un sujet anodin non plus avec 23 % de documents présents sur le sujet dans la base de données. Enfin, des documents scientifiques traitant de sujets spécifiques au territoire français sont présents mais peu représentés.

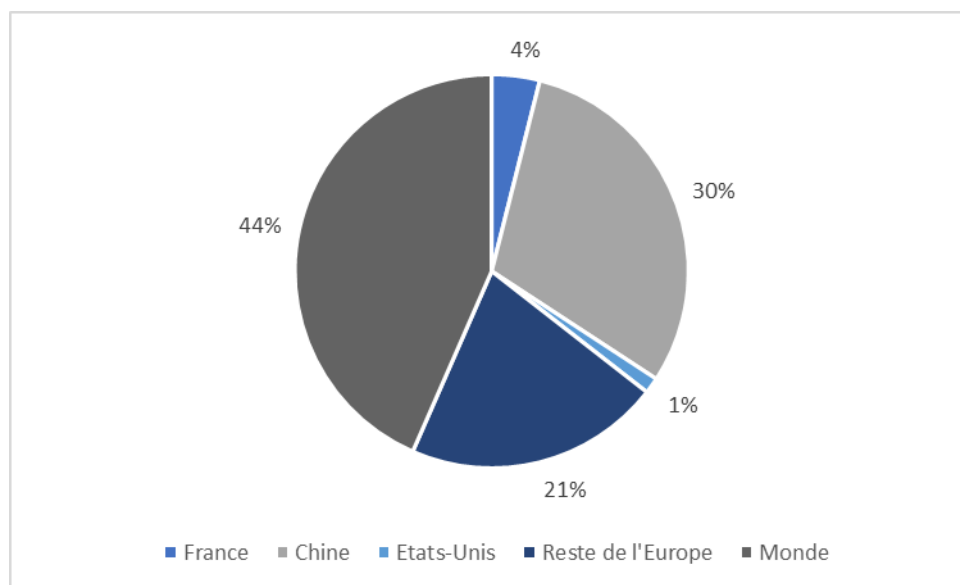


Figure 13 : Répartition géographique des documents étudiés (RECORD, 2024)

Des corrélations entre les thématiques abordées dans les documents et les périmètres géographiques sont peu évidentes car les problématiques générées par les POP sont mondiales et traversent les frontières. Par exemple, il est possible de retrouver des documents traitants de la pollution présente aux abords de usines de recyclages de DEEE dans des pays comme la Chine, l'Irlande ou le Vietnam. D'autres sujets propres aux retardateurs de flammes présents dans les produits et déchets touchent aussi un large périmètre comme des pays européens, la Chine ou l'Afrique du Sud.

2.3.1.2 Les principaux POP mentionnés dans les publications

Comme évoqué, il existe de nombreux POP et familles de POP. Or, ces POP ne sont pas tous forcément présents dans les produits-déchets. Ou tout du moins, tous les POP ne reçoivent pas la même attention de la part de la communauté scientifique pour leur présence dans les déchets et les problématiques qui y sont liées. Parmi le panel de documents étudiés, les produits-déchets contenant des PBDE sont majoritaires (mentionnés dans 23 % des publications), ce qui s'explique par la présence de cette famille de POP dans divers types de déchets contenant des retardateurs de flammes comme les DEEE ou les plastiques (voir Figure 14). Les PCB (17 %), HBCD (14 %) et PCDD/F (12 %) sont aussi régulièrement présents dans la littérature. En outre, il est possible d'observer que, malgré une utilisation plus faible dans certains produits, les autres familles de POP sont également mentionnées dans la littérature analysée, ce qui montre un périmètre élargi des études sur les POP dans les déchets.

Il est à noter que les documents scientifiques peuvent traiter de plusieurs POP, que ce soit au sein d'un même déchet ou provenant d'un mélange de déchet (par exemple : ordures ménagères), ainsi c'est une répartition réalisée sur l'ensemble des POP évoqués et non sur le nombre de documents étudiés.

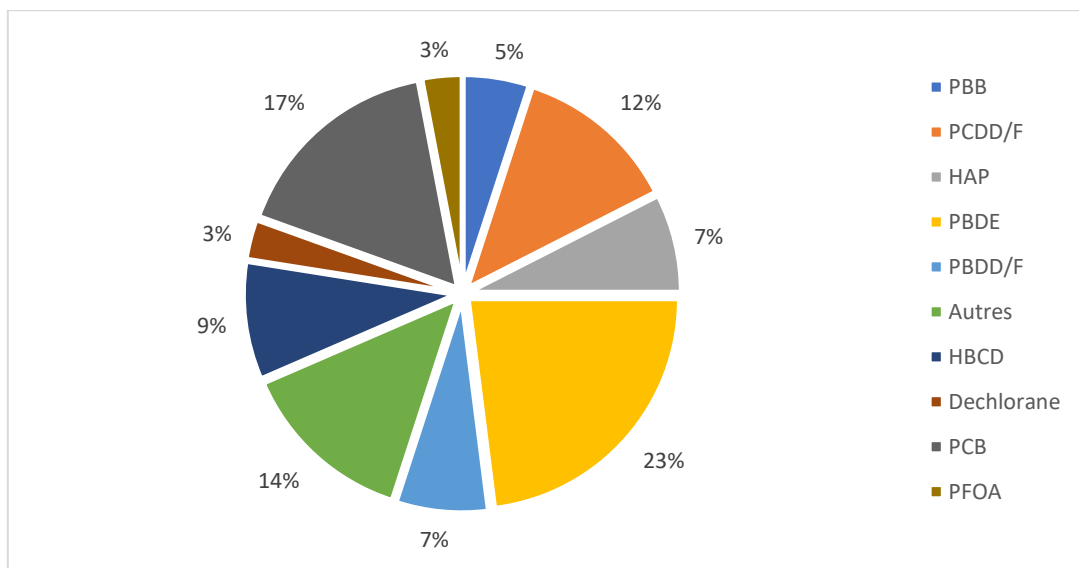


Figure 14 : Répartition des POP dans les publications étudiées (RECORD, 2024)

Les POP étudiés dans les publications illustrent les problématiques actuelles – c'est-à-dire sur la période temporelle étudiée 2015-2023 - des différentes familles de POP. Il est possible que certaines aient été plus faiblement étudiées ces dernières années car le sujet a déjà été fortement investigué par le passé. Cela peut aussi être dû à une interdiction d'utilisation du POP, ce qui réduit son possible impact sur l'environnement et l'être humain et sa présence dans les déchets. Il est également possible que l'attention ne se porte pas encore sur certains couples POP-déchets car accaparée sur d'autres. A titre d'exemple, les PFAS sont actuellement fortement étudiés suite aux discussions actuelles sur ces substances. Une rapide recherche google scholar montre que depuis 2020 il y avait 9 000 références sur le mot clé PFAS et seulement 3 000 sur 'brominated flame retardants'.

2.3.1.3 Les produits-déchets et traitements des déchets évoqués dans les publications

La diversité de présence des POP dans les produits se retrouve à travers la nature des déchets étudiés dans les publications de la base de données (voir Figure 15). Les déchets principalement évoqués et étudiés sont les DEEE à 29 % car ils contiennent des retardateurs de flammes afin de répondre au risque incendie intrinsèque à cette catégorie de produits et ils sont souvent réalisés à l'aide de parties en plastiques. Les déchets solides et municipaux sont aussi fortement étudiés (15 %) car les centres de gestion de ces déchets présentent des sujets d'intérêts comme l'étude des rejets atmosphériques ou la présence de POP dans divers compartiment impactés comme les sols, l'eau, ou encore l'air. Les déchets plastiques incluent parfois des POP à des concentrations les classant parmi les déchets dangereux. Ces déchets doivent être séparés et éliminés conformément à la réglementation.

Dans les déchets étudiés, la présence de ceux de construction est cohérente avec l'utilisation de matériaux contenant des POP notamment pour l'isolation. En outre, les mousses et mousses anti-incendies étant utilisées avec des propriétés ignifuges, il est logique que ces déchets contiennent des POP à effet de retard de flamme et soient traités dans plusieurs articles à cet effet.

Il est à noter que les documents scientifiques peuvent traiter de plusieurs déchets, ainsi c'est une répartition réalisée sur l'ensemble des déchets évoqués et non sur le nombre d'articles étudiés. Comme présenté précédemment, cette recherche bibliographique est focalisée sur la gestion des déchets POP, et ne couvre pas de manière exhaustive l'ensemble des produits ou déchets contenant des POP. Le camembert représente donc l'intérêt de la littérature pour la présence de POP dans divers déchets.

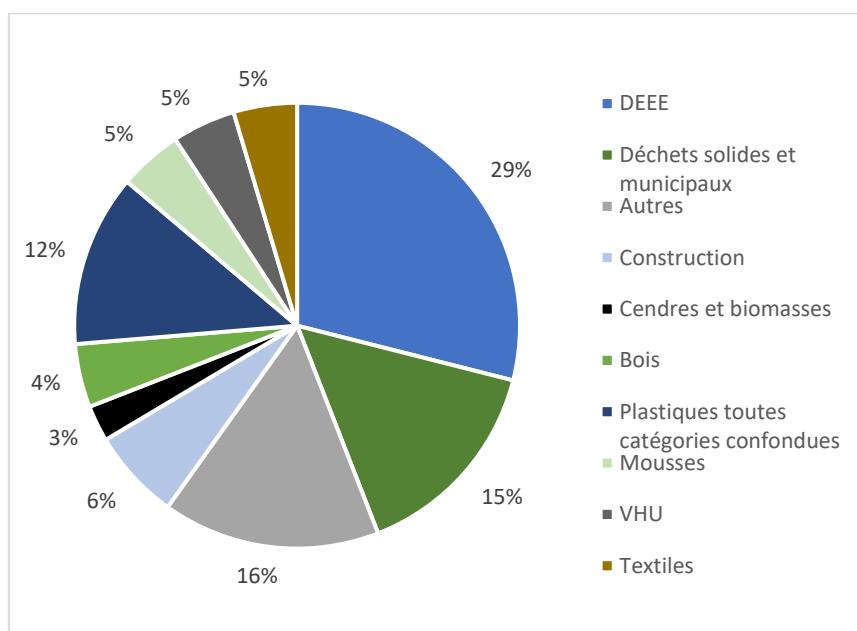


Figure 15 : Répartition des déchets dans les publications étudiées (RECORD, 2024)

En outre, si les déchets contenant des POP sont variés, chaque déchet peut être traité de façons différentes, ce qui influe sur la libération des POP lors du traitement. Le sujet majoritairement étudié est le recyclage de déchets contenant des POP à plus de 60 % parmi les documents utilisés dans l'étude. L'incinération des déchets contient aussi son lot de problématiques avec 29 % de documents évoquant le traitement de ce type de déchets. Ces deux processus sont ainsi à l'origine d'émissions involontaires de POP dans l'environnement et ont le plus fort impact possible dans le traitement des déchets (voir la section précédente pour plus de détails).

D'autres méthodes de gestion des déchets, comme l'enfouissement avec 5 % de documents traitant de cette gestion des déchets ou le broyage des déchets avec 1 %, sont aussi ponctuellement étudiés et montrent que quelque soit la méthode utilisée, l'impact des POP ne peut être nul. Par exemple, les concentrations de PCDD/F, PCB et PBDE ont été étudiées dans les poussières retombées collectées à proximité de 3 usines de broyage situées en Wallonie et les conclusions sur les effets sur la santé d'une exposition élevée aux polluants parmi les travailleurs et les résidents à proximité de ces installations de déchiquetage sont préoccupants⁶². De même, enfouir des déchets n'est pas sans impacts car des études^{63 64} ont montré qu'il existait un risque (évalué en observant les concentrations dans l'air et dans le sol autour d'une zone de traitement de déchets), certes faible ou modéré, pour la population locale que ce soit par ingestion, inhalation ou contact dermique. Il faudrait ainsi améliorer les pratiques actuelles de gestion des déchets afin d'éviter les émissions de substances POP.

Cependant, le traitement des déchets n'est pas la seule source d'émission des POP identifiés dans les documents traitant à la fois des POP et des déchets. En effet, les POP peuvent être émis dans des rejets aqueux ou sous la forme de microplastiques lors des processus de traitement de déchets en contenant. Ainsi éliminer de manière efficace les POP présents dans les eaux usées est un enjeu négligeable dans la gestion des POP. Des solutions se mettent en place et sont étudiées dans divers documents afin d'en étudier les avantages, les difficultés et les paramètres spécifiques qui influent sur l'efficacité de l'élimination. Il existe pour cela des méthodes d'adsorption et d'électrocoagulation en discontinu et en continu. Par exemple, un état de l'art de l'électrocoagulation permet de souligner l'avantage du processus hybride électrocoagulation-adsorption, par rapport à l'absorption ou la

⁶² Atmospheric deposition of polychlorinated dibenzo-dioxins/furans (PCDD/Fs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the vicinity of shredding facilities in Wallonia (Belgium), P. Dufour, C. Pirard, G. Ortegat, JM. Brouhon, C. Charlier, 2021

⁶³ Waste dumping sites as a potential source of POPs and associated health risks in perspective of current waste management practices in Lahore city, Pakistan, S. Hafeez, A. Mahmood, J. Hussain Syed, J. Li, U. Ali, R. Naseem Malik, G. Zhang, 2016

⁶⁴ Formal waste treatment facilities as a source of halogenated flame retardants and organophosphate esters to the environment: A critical review with particular focus on outdoor air and soil, Y. Ma, W.A Stubbings, M. Abou-Elwafa Abdallah, R. Cline-Cole, S. Harrad, 2022

coagulation simple, pour améliorer l'efficacité de l'élimination des polluants organiques des eaux usées⁶⁵. Cependant, des défis restent à être relevés dans ce domaine.

2.3.1.4 Une réponse aux principales questions de recherches sur les POP dans les déchets

Les documents étudiés ont permis d'identifier des sujets de recherches pertinents et majeurs sur l'enjeu des POP dans les déchets. Ainsi, il est intéressant de regarder les premières réponses apportées aux questions de recherches préalablement évoquées.

Quantification de POP autour de centres de traitement ou recyclage dans les compartiments environnementaux sol/eau/air/biodiversité

Les lieux de gestion de déchets, que ce soit pour de l'incinération, du recyclage, du broyage ou encore de l'enfouissement, sont des sources d'émissions de POP car ils libèrent ceux présents dans les déchets qu'ils gèrent ou en produisent lors des étapes de traitement. Ainsi, plusieurs études ont été menées afin d'analyser et de quantifier la présence de POP aux alentours de ces lieux stratégiques.

Sur les composés organiques semi-volatils⁶⁶ (COSV), en particulier les PCB, HCB, PeCB, HAP et PBDE, A. Surchamps⁶⁷ indiquent qu'ils ne sont pas seulement émis par processus de combustion, mais aussi par volatilisation passive à partir du milieu urbain et des sols pollués. Ses études ont permis de caractériser les émissions indirectes de COSV au niveau de milieux potentiellement contaminés par des utilisations passées ou actuelles de ces composés (zones ferroviaires souterraines, axes de circulation) et de sites de traitement de déchets (station d'épuration, traitement de déchets, destruction de véhicules hors d'usage VHU). Des réseaux de mesure comprenant des préleveurs d'air actifs « grand volume », des capteurs passifs et de bio-accumulateurs ont été utilisés pour acquérir des données au voisinage des sources potentielles. Les résultats révèlent la présence de tous les composés recherchés dans l'air, majoritairement présent en phase gazeuse. La contamination de l'air au niveau des sites d'étude montre une hiérarchisation commune (phtalates > HAP >> HCB > PeCB > PCB > PBDE), où la contamination de l'air en période estivale est plus importante, confirmant l'importance relative des émissions diffuses par volatilisation passive. Les résultats amènent à considérer que les émissions diffuses de COSV non halogénés (phtalates et HAP) par volatilisation passive, constituent une question environnementale dont les enjeux pourraient dépasser ceux des anciens polluants organiques persistants POP (PCB, PBDE, etc), ce sont donc des sources potentielles de POP dans le futur qu'il faut identifier et anticiper.

Sur les PCB, les PBDE et le déchlorane plus (DP), S. Hafeez et al.⁶⁸ ont analysé ces éléments dans des échantillons d'air, de poussière, de sol et d'eau provenant de la décharge de Lahore, au Pakistan. Il a été révélé que les niveaux de PCB étaient plus élevés dans toutes les matrices environnementales que les PBDE et les DP. L'analyse a montré une utilisation plus importante des BDE-47, -99 et des di-CB, tri-CB, tétra-CB et penta-CB. L'évaluation des risques sanitaires liés aux PCB et aux PBDE présents dans le sol et la poussière a révélé un risque faible à modéré pour la population locale par différentes voies d'exposition. Ainsi, s'il est recommandé d'améliorer les pratiques actuelles de gestion des déchets afin d'éviter les émissions de contaminants et de transformer les décharges à ciel ouvert en décharges sanitaires, une priorisation de la gestion de certains POP est à faire.

Cette étude porte sur la gestion des déchets, et donc ne couvre pas la gestion des POP dans le corps humain. Néanmoins, ces substances sont également bioaccumulables, et peuvent être nocives pour l'homme. Différentes études^{69 70} se sont penchées sur la bioaccumulation et le transfert vers l'être humain. Il est possible de conclure que les voies d'exposition des PCDD/F et des DL-PCB depuis

⁶⁵ Removal of Persistent Organic Pollutants (POPs) from water and wastewater by adsorption and electrocoagulation process, F.E. Titchou, H. Zazou, H. Afanga, J. El Gaayda, R. Ait Akbour, M. Hamdani, 2021

⁶⁶ Les composés organiques semi-volatils (COSV) sont des molécules de volatilité intermédiaire, abondants à la fois dans la phase vapeur et condensée à des températures et pressions ambiantes. Ce sont des composés organiques dont le point d'ébullition est compris entre (240 à 260 °C) et (380 à 400 °C) et la pression de vapeur saturante des COS V se situe entre 10⁻² et 10⁻⁸ kPa.

⁶⁷ "Emissions potentielles de polluants organiques persistants à partir du milieu urbain et par les activités de traitement des déchets : impact sur la qualité de l'air au voisinage des sources", A. Surchamps, 2016

⁶⁸ Waste dumping sites as a potential source of POPs and associated health risks in perspective of current waste management practices in Lahore city, Pakistan, Hafeez S, Mahmood A, Syed JH, Li J, Ali U, Malik RN, Zhang G, 2016

⁶⁹ PCDD/F and DL-PCB exposure among residents upwind and downwind of municipal solid waste incinerators and source identification, B. Zhang, M. Guo, M. Liang, J. Gu, G. Ding, J. Xu, L. Shi, A. Gu, G. Ji, 2023

⁷⁰ The transfer of environmental contaminants (Brominated and Chlorinated dioxins and biphenyls, PBDEs, HBCDDs, PCNs and PFAS) from recycled materials used for bedding to the eggs and tissues of chickens, Fernandes A.R., I. R Lake, A. Dowding, M. Rose, N. R Jones, F. Smith, S. Panton, 2023

l'environnement jusqu'aux aliments jusqu'aux humains existent et se font à proximité d'incinérateurs de déchets en passant par l'alimentation car le riz, les œufs ou le poulet absorbent divers POP. Le transfert de POP par les volailles, en s'intéressant à leur environnement, peut se faire à partir de matériaux de literie recyclés, disponibles dans le commerce. A la suite de leur recyclage, celles-ci contiennent des PCDD/F, dioxines, PCB, les PBDD/F, les PFAS, etc. Les résultats ont montré que les PCB, les PBDE, les PCDD/F, les PCN et les PFAS présentaient le potentiel d'absorption le plus élevé, qui variait en fonction du type de matériau de litière utilisé. Les résultats d'une autre étude⁷¹ indiquent une source potentiellement négligée de contamination de la chaîne alimentaire, car d'autres produits d'élevage (lait de vache, agneau, bœuf, canard, etc.) pourraient être affectés de la même manière.

Un autre enjeu majeur pour la quantification des POP au niveau des centres de traitement est celui de la gestion des DEEE. Il est important de pouvoir identifier et quantifier les POP présents dans ces déchets. Par exemple, Zhou et al.⁷² ont examiné l'occurrence et la distribution de substances, y compris les PCDD/F, PBDD/F, PXDD/F, les PBDE, les PCB et les carbazoles polyhalogénés (PHCZ), dans le sol d'un site d'élimination des déchets électroniques à Hangzhou en Chine. Les PBDE étaient les plus abondants, suivis par les PHCZ, les PCDD/F, les PCB, les PBDD/F et les PXDD/F. Les PHCZ (production non intentionnelle : ils se forment dans certaines conditions en tant que sous-produits de processus thermiques) ont été signalés pour la première fois dans le sol d'une zone d'élimination des déchets électroniques, et leurs concentrations étaient supérieures de plusieurs ordres de grandeur à celles des autres contaminants. Bien que le risque d'exposition humaine dans cette étude ait été estimé inférieur aux valeurs recommandées par l'OMS (1-4 pg TEQ/kg pc/jour), les risques pour la santé existent toujours. Une autre installation de démantèlement en Ontario, au Canada recycle les DEEE dans laquelle divers échantillons ont été prélevés et analysés⁷³. Sur les 79 composés cibles (comme les retardateurs de flammes dont le PBDE ou le déchloranes), au moins 60 ont été détectés à une fréquence d'au moins 50 % dans l'air et dans la poussière. Les composés les plus présents dans les poussières et l'air sont : le décaBDE et le phosphate de triphényle (pas une substance POP). Les niveaux de concentrations de PBDE, de nouveaux retardateurs de flammes bromés et de déchloranes étaient près de deux ordres de grandeur plus élevés dans la poussière provenant de l'installation de démantèlement que dans les maisons d'habitation. Il est clair que les installations de démantèlement des DEEE constituent une source de préoccupation majeure en tant que source d'émissions d'un large éventail de retardateurs de flammes à des concentrations relativement élevées, tant pour les travailleurs que pour l'environnement immédiat. Finalement, ces POP identifiés se retrouvent aussi dans la biodiversité comme a pu le démontrer une étude réalisée en Chine⁷⁴ qui montre la bioaccumulation des PCDD/F, des PCB et des PBDE dans des vers de terre et le sol correspondant collectés dans une zone de démantèlement des déchets électroniques. Des corrélations significatives ont été observées pour les concentrations totales entre les différents types de matrice, à l'exception des PCDD/F dans le sol et les vers de terre. La tendance à la bioaccumulation a montré des différences entre les contaminants, les PCB et les PBDE ont un potentiel de bioaccumulation plus élevé que les PCDD/F, ce qui diffère quelque peu des études de laboratoire.

Pour évaluer les risques sur la santé humaine, des tests ont été réalisés sur des échantillons ambiants et alimentaires, tels que la poussière, l'air, le sol et des échantillons de poulet, d'œuf et de riz⁷⁵. Dans l'ensemble, les échantillons de poussière et de riz présentaient respectivement les concentrations moyennes de dioxine les plus élevées et les plus faibles. Des différences significatives ont été observées dans les concentrations de PCDD/F dans les échantillons de poulet et dans les concentrations de PCB dans les échantillons de riz et d'air entre les villages situés au vent et derrière le vent. L'évaluation de l'exposition a indiqué que la principale source de risque était l'exposition alimentaire, en particulier celle provenant des œufs, dont la concentration exprimée en TEQ PCDD/F était comprise entre 0,31 et 14,38 pg TEQ/kg de poids corporel /jour, ce qui a conduit un adulte et des enfants de deux ménages à dépasser le seuil défini par l'Organisation mondiale de la santé de 4 pg TEQ/kg pc/jour⁷⁶.

⁷¹ PCDD/F and DL-PCB exposure among residents upwind and downwind of municipal solid waste incinerators and source identification, B. Zhang, M. Guo, M. Liang, J. Gu, G. Ding, J. Xu, L. Shi, A. Gu, G. Ji, 2023

⁷² Multiple classes of chemical contaminants in soil from an e-waste disposal site in China: Occurrence and spatial distribution, Zhou, J. Sun, L. Wang, G. Zhu, M. Li, J. Liu, Z. Li, H. Gong, C. Wu, G. Yin, 2021

⁷³ Flame retardants and plasticizers in a Canadian waste electrical and electronic equipment (WEEE) dismantling facility, W. A. Stubbing, L. V Nguyen, K. Romanak, L. Jantunen, L. Melymuk, V. Arrandale, M. L Diamond, M. Venier, 2019

⁷⁴ Bioaccumulation of PCDD/Fs, PCBs and PBDEs by earthworms in field soils of an E-waste dismantling area in China, H. Shang, P. Wang, T. Wang, Y. Wang, H. Zhang, J. Fu, D. Ren, W. Chen, Q. Zhang, G. Jiang, 2013

⁷⁵ Flame retardants and plasticizers in a Canadian waste electrical and electronic equipment (WEEE) dismantling facility, B. Zhang, L. V Nguyen, K. Romanak, L. Jantunen, L. Melymuk, V. Arrandale, M. L Diamond, M. Venier, 2023

⁷⁶ Flame retardants and plasticizers in a Canadian waste electrical and electronic equipment (WEEE) dismantling facility, B. Zhang, L. V Nguyen, K. Romanak, L. Jantunen, L. Melymuk, V. Arrandale, M. L Diamond, M. Venier, 2023

Techniques de traitement des émissions de POP lors de l'incinération des déchets

Une vingtaine de documents traite du sujet de l'incinération de déchets contenant des POP et des émissions polluantes qui en découlent. Les déchets étudiés dans ces publications sont principalement des déchets solides et municipaux, ce qui est cohérent car, jusqu'à présent ce type de déchets est majoritairement incinéré, même si les combustibles de substitution solide vont prendre de plus en plus de place (notamment bitumineux issus du bâtiment etc...). Pour élargir les recherches de l'impact de l'incinération selon divers types de déchets, des documents scientifiques mentionnent également de déchets divers comme des déchets biomédicaux, de construction, DEEE, de mousses ou encore de déchet dangereux. A titre illustratif, en 2018 en France, 126 incinérateurs de déchets municipaux non-dangereux brûlaient en moyenne 14,5 millions de t/an de déchets⁷⁷. Si l'incinération est une méthode répandue de gestion de déchets, elle n'est pas sans conséquences. L'incinération génère plusieurs sous-produits polluants : les fumées, les mâchefers, les lixiviats, les eaux de lavage des fumées, les résidus d'épuration de fumées (un déchet ultime constitué de poussières et de cendre volante, riche en substances toxiques, dont dioxines, furanes, HAP, métaux lourds et métalloïdes de granulométrie très fine). Les conséquences de l'incinération et sa production de sous-produits dangereux illustrent l'intérêt scientifique pour le sujet.

Un sujet majeur dans le traitement des émissions de POP lors de l'incinération des déchets est celui de la gestion des dioxines et furanes (PCDD/F). Différents chercheurs^{78,79} ont essayé de prédire sa production par les incinérateurs, d'autres ont cherché des moyens de le dépolluer et des derniers se sont attelés à évaluer les risques que ces POP pouvaient amener. Les produits sujets à l'incinération étant très variable d'un pays à un autre et la réglementation sur les émissions pouvant fortement varier, il est à noter que les informations présentées dans les documents présentés ci-dessous concernent principalement la Chine.

Lors de l'incinération de déchets contenant des POP, la réglementation française, alignée sur les directives européennes, impose des limites strictes en matière d'émissions pour protéger la santé publique et l'environnement. Voici les principales limites d'émission en vigueur :

- Directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (IED)

Sur les dioxines et furanes, la limite d'émission pour les dioxines et furanes est fixée à 0,1 ng I-TEQ/m³ (nanogramme d'équivalent toxique international par mètre cube) de gaz émis. Cette limite est très stricte étant donné le haut degré de toxicité de ces composés, même à faible concentration.

- Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération de déchets dangereux

La température minimale requise dans la chambre de combustion doit être d'au moins 850°C pour les déchets courants, mais elle doit atteindre 1100°C lorsqu'il s'agit de déchets contenant des PCB ou d'autres POP spécifiques, pour assurer leur destruction complète.

Les gaz doivent rester à cette température pendant au moins 2 secondes pour garantir la décomposition complète des POP.

- Arrêté du 12 janvier 2021 relatif aux meilleures techniques disponibles (MTD) applicables aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets relevant du régime de l'autorisation au titre de la rubrique 3520 et à certaines installations de traitement de déchets relevant du régime de l'autorisation au titre des rubriques 3510, 3531 ou 3532 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Concernant la surveillance de la teneur en POP dans les flux issus de l'incinération de déchets dangereux contenant des POP, l'exploitant mesure directement ou indirectement la teneur en POP dans les scories, mâchefers, fumées et effluents aqueux après la mise en service ou toute modification majeure de l'incinérateur de déchets dangereux, si les déchets incinérés dépassent les concentrations limites en POP définies dans l'annexe IV du règlement (UE) 2019/1021 et si le procédé ne respecte pas les spécifications techniques du Programme des Nations unies pour l'environnement.

- L'ensemble des directives imposées au traitement des déchets dangereux est intéressant pour certains déchets POP qui peuvent être considérés comme des déchets dangereux comme l'illustre la Figure 8.

⁷⁷ 126 incinérateurs de déchets en France : la mégapollution, Reporterre, 2022

⁷⁸ Identification and verification of PCDD/Fs indicators from four typical large-scale municipal solid waste incinerations with large sample size in China, C. Liu, X. Chen, W. Yin, H. Wu, J. Huang, Y. Yang, Z. Gao, J. Huang, J. Fu, J. Han, 2023

⁷⁹ Buffering effect of the economizer against PCDD/Fs in flue gas from solid waste incineration plants, J. W. Lu, Y. Xie, B. Xie, Z. Li, Z. Huang, D. Zhang, J. Hai, 2023

- Les différentes informations présentes dans les annexes du règlement POP.

Dans un incinérateur en Chine, il a été démontré que les concentrations ambiantes dans l'air de PBDD/F et de PCDD/F diminuent à mesure que l'on s'éloigne de l'incinérateur de déchets municipaux, ce qui confirme l'influence de celui-ci sur les niveaux de dioxines dans l'air ambiant⁸⁰. Mais son influence sur les PBDD/F était moindre car ils présentent une volatilité plus faible et donc des concentrations gazeuses plus faibles que les PCDD/F. Les données saisonnières suggèrent que les conditions météorologiques ont exercé une influence apparente sur les concentrations et les sources de dioxines en suspension dans l'air autour de l'installation de traitement des déchets solides municipaux. En outre, dans une autre étude⁸¹, les niveaux de concentrations en PBDD/F mesurés étaient comparables à ceux des PCDD/F dans des échantillons tests pris proches d'un incinérateur municipal. Un lien a été mis en évidence entre le taux de concentration de PBDD/F et PCDD/F dans les sols et la proximité avec l'incinérateur. Cependant, l'existence d'autres sources de dioxines a dissimulé son influence au-delà de 6 km. Les PBDD/F dans les sols étaient caractérisés par des PBDF fortement bromés, en particulier l'Octa-BDF, et leurs sources ont été diagnostiquées comme étant l'incinérateur et les gaz d'échappement des moteurs diesel ; les PCDD/F, en revanche, étaient dominés par des PCDD fortement chlorés, en particulier l'Octa-CDD, et ont été apportés individuellement ou conjointement par l'incinérateur, les gaz d'échappement des automobiles et le pentachlorophénol (PCP)/Na-PCP. Les risques non cancérogènes des dioxines dans tous les échantillons de sol étaient acceptables, mais les risques cancérogènes dans 17 % des échantillons étaient inacceptables. Ces échantillons étaient tous situés à proximité de l'incinérateur et des autoroutes, de sorte que l'utilisation des sols dans ces deux zones à haut risque devrait être réalisée avec prudence pour identifier la source des substances trouvées dans le sol. Une étude similaire⁸² a aussi été réalisée sur des PCB et des PBDE. Ainsi, les niveaux, les profils des congénères et les distributions spatiales des PCB ont montré que les concentrations diminuaient avec l'augmentation de la distance par rapport à la source d'émission. Toutefois, cette tendance était opposée à celle observée pour les PBDE.

Sur la thématique des techniques de traitement des émissions de POP lors de l'incinération des déchets, d'autres sujets ont pu être traités de manière ponctuelle comme la détermination de l'influence de l'incinération des déchets municipaux et/ou médicaux des polymères commerciaux à base de fluorotélomères en fin de vie en tant que source potentielle de PFOA susceptible de contribuer à l'exposition de l'environnement et de l'être humain. Les résultats de l'étude de P. H. Taylor⁸³ ont permis de conclure que l'incinération de ces polymères ne devrait pas être une source de PFOA dans l'environnement. Une comparaison avec la présence des POP entre l'entrée et la sortie de différents incinérateurs a aussi été réalisée⁸⁴. Pour les deux incinérateurs, les PCDD/F, les PCB et HAP sont les principaux contributeurs à la production totale de POP. Dans les déchets municipaux, les PCDD/F, les PBDD/F et les PBDE sont les principaux contributeurs à l'apport pondéré de POP. Les rapports entre l'entrée et la sortie de POP pesées indiquent clairement que le four rotatif incinérant des déchets dangereux est un puits de POP. Le four à grille incinérant les déchets municipaux est un puit ou une source de POP qui varie en fonction des concentrations de POP dans les déchets, mais la différence entre la sortie et l'entrée est plutôt limitée.

En outre, des études ont été effectuées sur les cendres issues de déchets municipaux ou de biomasses⁸⁵. Les cendres provenant de trois usines d'incinération de déchets solides municipaux ont été collectées et analysées pour en déterminer la composition élémentaire, la spéciation du carbone et les teneurs en POP (PCDF, PCDD, PCN et PCB). Les cendres ont ensuite été soumises à deux traitements thermiques : un traitement par petits lots dans des ampoules de verre scellées et un traitement par grands lots dans un four dans des conditions de manque d'oxygène. Les résultats indiquent que les traitements thermiques ont eu des effets similaires sur les PCDD et les PCB, qui se sont apparemment dégradés mais ne se sont pas reformés. Les PCDF et les PCN ont été dégradés mais se sont reformés de manière sélective (à la fois pendant et après le traitement). En outre, la

⁸⁰ Occurrence and carcinogenic potential of airborne PBDD/Fs and PCDD/Fs around a large-scale municipal solid waste incinerator: A long-term passive air sampling study, H. R. Li, M. Y. Liu, J. J. Hu, A. M. Song, P. A. Peng, G. G. Ying, B. Yan, T. Chen, 2023

⁸¹ Polybrominated dibenzo-p-dioxins/furans (PBDD/Fs) in soil around municipal solid waste incinerator: A comparison with polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans (PCDD/Fs), Song, H. Li, M. Liu, P. Peng, J. Hu, G. Sheng, G. Ying, 2022

⁸² Evaluation of atmospheric sources of PCDD/Fs, PCBs and PBDEs around an MSWI plant using active and passive air samplers, Li, Y. Zhou, G. Wang, G. Zhu, X. Zhou, H. Gong, J. Sun, L. Wang, J. Liu, 2021

⁸³ Investigation of waste incineration of fluorotelomer-based polymers as a potential source of PFOA in the environment, P. H. Taylor, T. Yamada, R. C. Striebich, J. L. Graham, R. J. Giraud, 2014

⁸⁴ Mass balance for POPs in hazardous and municipal solid waste incinerators, J. Va Caneghem, C. Block, A. Van Brecht, G. Wauters, C. Vandecasteele, 2010

⁸⁵ Behavior of PCDF, PCDD, PCN and PCB during low temperature thermal treatment of MSW incineration fly ash, E. Weidemann, L. Lundin, 2015

composition des cendres n'a pas influencé de manière significative les profils de congénères spécifiques des homologues des PCDF et PCN formés, mais ils présentaient des degrés de chloration nettement inférieurs à ceux des cendres non traitées et leur toxicité globale a été réduite par le traitement au four, indépendamment des concentrations après le four et de la composition des cendres⁸⁶. Sur la même thématique, une autre étude⁸⁷ a permis de conclure que les HAP, les PCB et les PCDD/F sont nettement plus concentrés dans les cendres volantes que dans les cendres résiduelles/totales correspondantes pour chaque type de biomasse : résidus agricoles, bois, déchets de bois, boues de papier, boues d'épuration et déchets solides municipaux. En règle générale, les cendres résiduelles/totales de la biomasse vierge (par exemple, le bois et les résidus agricoles) sont conformes à une utilisation comme engrais, tandis que les cendres résiduelles/totales provenant de déchets (par exemple, déchets de bois, déchets solides municipaux) sont plus adaptées à une utilisation contrôlée dans la construction. Les teneurs plus élevées en POP dans les cendres volantes limitent leur utilisation et, occasionnellement, les déchets contenant des PCDD/F doivent être détruits avant leur élimination.

Un autre sujet identifié sur les problématiques liées à l'incinération était la gestion de déchets biomédicaux. Bien que de nombreuses agences nationales/internationales approuvent une norme stricte d'émission des cheminées d'incinérateur de 0,1 ngTEQ/Nm³, certaines différences sont observées dans les scénarios réglementaires d'une nation à l'autre. Un article⁸⁸ examine et rend compte des études sur les émissions de dioxines et les risques pour la santé associés à l'incinération des déchets biomédicaux au cours des trois dernières décennies (1990-2020) avec une analyse complète des tendances spatiales et temporelles des émissions. L'étude permet de montrer qu'une surveillance réglementaire continue et des assouplissements logiques peuvent améliorer les performances des installations existantes en garantissant de faibles émissions et un risque minimal.

Focus sur la gestion et le traitement des DEEE lors de leur recyclage

Les DEEE sont des déchets contenant très souvent des POP car ils requièrent l'utilisation de retardateurs de flammes. Les DEEE sont des déchets qui ont vocation à être recyclés car les éléments les composants sont souvent intéressants à récupérer d'un point de vue économique et stratégique (métaux, matériaux stratégiques ou critiques, etc.). Une quarantaine de documents scientifiques traite à la fois de la présence des POP dans les DEEE et du traitement par recyclage de ces déchets.

Point d'attention sur les plastiques bromés et leur méthodes de tri

Certains documents^{89 90 91} présentent différentes méthodes pour gérer le recyclage des DEEE, et plus particulièrement l'identification de la présence de Brome et d'autres éléments chimiques dans les différentes fractions issues des DEEE en vue du tri et du recyclage du déchet. Le

⁸⁶ Behavior of PCDF, PCDD, PCN and PCB during low temperature thermal treatment of MSW incineration fly ash, E. Weidemann, L. Lundin, 2015

⁸⁷ Potential reuse options for biomass combustion ash as affected by the persistent organic pollutants (POPs) content, J. Zhai, I. T Burke, D. I. Stewart, 2022

⁸⁸ Dioxins Emissions from Bio-Medical Waste Incineration: A Systematic Review on Emission Factors, Inventories, Trends and Health Risk Studies, S. V. Ajay, KP. Prathish, 2023

⁸⁹ POP-BFRs in consumer products: Evolution of the efficacy of XRF screening for legislative compliance over a 5-year interval and future trends, M. Sharkey, M. A. Abdallah, D. S. Drage, S. Harrad, H. Berresheim, 2022

⁹⁰ Portable X-ray fluorescence for the detection of POP-BFRs in waste plastics, M. Sharkey, M. A. Abdallah, D. S. Drage, S. Harrad, H. Berresheim, 2018

⁹¹ Assessment of brominated flame retardants in a small mixed waste electronic and electrical equipment (WEEE) plastic recycling stream in the UK, W. A. Stubbing, M. A. E. Abdallah, K. Misiuta, U. Onwuamaegbu, J. Holland, L. Smith, C. Parkinson, R. McKinlay, S. Harrad, 2021

Tableau 9 présente un récapitulatif des avantages ou inconvénients exprimés dans la littérature scientifique sur les différentes méthodes pour séparer les plastiques bromés des non-bromés expliquées ci-dessous :

- Les méthodes de tri densimétrique des matériaux (flottation) sont des méthodes efficaces pour trier les plastiques, mais elles présentent l'inconvénient que la fraction dense contient non seulement des plastiques bromés, mais aussi des plastiques contenant des additifs non dangereux "lourds" tels que le talc, le carbonate de calcium, le dioxyde de titane, la silice, qui sont alors "perdus" avec la fraction bromée. Un second tri est alors nécessaire.
- Les XRD (ou diffraction des rayons X) est une technique analytique utilisée pour identifier la structure cristalline des matériaux. Elle permet de déterminer la composition et les phases présentes dans un échantillon solide en étudiant la manière dont les rayons X sont diffractés par les cristaux. Le XRD permettrait selon les recycleurs d'atteindre les 1 000ppm de brome.
- La spectrométrie XRF (Fluorescence à rayons X) portable est utile pour l'évaluation préliminaire ou le contrôle des pièces à démanteler, ou pour les petits centres de tri. Cette méthode permet de détecter certains éléments chimiques et de mesurer leur concentration mais elle ne peut pas déterminer la composition chimique d'un matériau. Des machines de tri automatique par XRF sont aujourd'hui disponibles pour cribler les plastiques pour l'identification du chlore Cl et/ou du brome Br et/ou l'antimoine, Sb et/ou le rapport (Sb/Br) et/ou encore le phosphore P, le calcium Ca, le magnésium Mg, le silicium Si, le titane Ti, etc. La limite de détection est assez élevée car le XRF permettrait selon les recycleurs d'atteindre les 500 ppm de brome⁹², mais l'objectif important du tri des plastiques est de détecter et d'éliminer les particules à forte concentration en substance mesurée. Cette technologie est utilisée aujourd'hui pour le tri des métaux non ferreux dans les mâchefers d'incinérateurs ou les résidus de broyage automobile et est disponible dans certaines entreprises de broyage. Elle n'est actuellement pas utilisée pour les plastiques car elle est trop coûteuse pour ces déchets de faible valeur. Les machines de tri automatique par XRF pourraient être utilisées comme tri secondaire de la fraction dense des plastiques (après la séparation par densité), pour séparer une fraction dense non bromée de la fraction dense bromée, ce qui, selon les recycleurs, pourrait réduire le coût de l'incinération de la fraction bromée restante et créer une valeur si elle peut être recyclée en tant que matériau.
- L'imagerie hyper-spectrale dans le proche infrarouge à ondes courtes (SWIR, également appelé proche infrarouge NIRBD, ce domaine spectrale est entre le NIR (infrarouge proche) et MWIR (infrarouge moyen), et est utilisé pour des applications de type imaging pour la détection de contaminants, par exemple) semble prometteuse pour détecter le brome Br et l'antimoine Sb avec des appareils relativement bon marché, mais elle ne fonctionne pas avec les plastiques noirs. Il pourrait s'agir d'un traitement secondaire après la séparation par densité, pour séparer parmi les plastiques denses ceux qui contiennent du Br et du Sb, comme pourraient le faire des machines XRF automatisées.
- La technologie LIBS, spectrométrie sur plasma induit par laser soit une technique analytique très faiblement destructive dont le principe repose sur l'utilisation d'un rayonnement monochromatique non ionisant, a aussi pu être utilisé pour contrôler les retardateurs de flamme bromés (RFB) dans les DEEE par certains opérateurs.

D'autres méthodes (par exemple la séparation électrostatique) n'ont pas prouvé leur efficacité pour des déchets plastiques réels dans un environnement industriel pour la première étape de tri (séparation de la fraction bromée), mais fonctionnent bien pour le tri secondaire ou tertiaire de la fraction non bromée entre PE/PP et PS/ABS, par exemple.

⁹² [Tri des plastiques issus des DEEE](#), Ecosystem, 2023

Tableau 9 : Tableau des différentes techniques industrielles utilisées pour séparer les matériaux contenant des retardateurs de flamme dans les DEEE (compilation RECORD, 2024) (Vencosky, 2021) (Sharkey, 2022) (Stubbing, 2021)^{93 94 95}

Méthode	POP Entre autres	Avantages	Inconvénients	Limite de détection
Tri par séparation de densité par flottaison	PBDE	Robuste Procédé maîtrisé	Nécessite un second tri pour être complet La densité est un substitut de la bromation : perte de certains plastiques non-bromés dans la fraction dense.	98,5 % des particules < 2 000 mg Br/kg, concentration moyenne du lot de particules < 1 000 mg Br/kg
Tri par densité atomique des particules par diffraction des rayons X (XRD)	PBDE HBCD	Robuste Procédé maîtrisé	Nécessite un second tri pour être complet De mauvais fonctionnements fréquents	Jusqu'à 1 000 ppm, réduction du Br jusqu'à 98 % en fonction de l'apport et de la composition, concentration moyenne du lot de particules < 1 000 mg Br/kg
Tri multi détecteur par fluorescence de rayon X (XRF)	PBDE HBCD PCCC	Tri flexible Détection de la concentration des éléments Utile pour la caractérisation, le tri et le contrôle de la qualité 6 % d'erreur	Coût élevé pour les résultats obtenus Doit être étalonné régulièrement Cette méthode atteint sa limite au 500 ppm, ce qui est problématique pour les futurs seuils à 350 ppm et 220 ppm.	500 ppm
Détection optique dans l'infrarouge à ondes courtes (SWIR, également appelé proche infrarouge NIRBD)	PBDE HBCD	Identification statique en laboratoire du Br et du Sb dans les plastiques	Ne fonctionne pas sur les plastiques noirs	2 000 mg de chaque élément/kg

Point d'attention sur les DEEE

D'autres documents⁹⁶ explorent les méthodes de captation des POP dans les effluents dans les usines de recyclage des DEEE. Parmi ces méthodes, les procédés étudiés sont les suivants :

- une technique intégrée avec un filtre à manche (BF),
- la photocatalyse (PC),
- un filtre biotrickling (BTF).

La technique intégrée BF-PC-BTF a permis d'obtenir des rendements d'élimination d'environ 83,7 %, 87,2 % et 94,1 % pour les COV, les HAP et les PBDE, respectivement, sur une période de fonctionnement de 30 jours. Plus précisément, la PC avait une efficacité d'élimination de 78,0 % et 72,3 % pour les COV et les HAP, respectivement, tandis que le BF éliminait 85,5 % des PBDE⁹⁷. Ces différences sont dues aux différentes distributions et caractéristiques des polluants dans les phases gazeuse et particulaire. Le PC et le BF ont contribué le plus à réduire les risques associés aux COV et aux PBDE. Toutefois, le BF a réduit davantage les risques liés aux HAP que le PC, en raison des risques plus élevés liés aux HAP dans la phase particulaire. Dans l'ensemble, les risques pour la santé des travailleurs liés aux COV, aux HAP et aux PBDE ont diminué de manière significative après le traitement

⁹³ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation (EU) 2019/1021, D. Vencosky, 2021

⁹⁴ POP-BFRs in consumer products: Evolution of the efficacy of XRF screening for legislative compliance over a 5-year interval and future trends, M. Sharkey, 2022

⁹⁵ Assessment of brominated flame retardants in a small mixed waste electronic and electrical equipment (WEEE) plastic recycling stream in the UK, W. A. Stubbing, 2021

⁹⁶ The health risk attenuation by simultaneous elimination of atmospheric VOCs and POPs from an e-waste dismantling workshop by an integrated de-dusting with decontamination technique, J. Chen, 2016

⁹⁷ The health risk attenuation by simultaneous elimination of atmospheric VOCs and POPs from an e-waste dismantling workshop by an integrated de-dusting with decontamination technique, J. Chen, D. Zhang, G. Li, T. An, J. Fu, 2016

par la technique intégrée. Tous ces résultats démontrent que cette technique intégrée peut constituer un moyen efficace pour purifier les COV et les POP présents dans les effluents gazeux émis lors du traitement des DEEE et pour améliorer la santé humaine des salariés des sites de traitement des DEEE.

Finalement, des nouveaux produits fabriqués à partir de matière issue du recyclage des DEEE pouvant contenir des POP ne sont pas sans conséquences sur l'environnement et la santé humaine. L'utilisation de plastiques recyclés doit être mise en balance avec les risques éventuels liés à la présence de substances dangereuses, principalement les anciens retardateurs de flamme bromés et les métaux lourds, qui perdurent dans les nouveaux produits après le recyclage de certaines fractions. Une étude aux Pays-Bas⁹⁸ a révélé que des BDE interdits et d'autres retardateurs de flammes toxiques se trouvent en concentrations élevées dans certains matériaux plastiques destinés aux marchés du recyclage. Ils se retrouvent également dans divers nouveaux produits de consommation, notamment les jouets pour enfants. Une analyse du flux massique a montré que 22 % de tous les POP-BDE présents dans les DEEE devraient finir dans des plastiques recyclés, car ces substances ne sont actuellement pas efficacement séparées des flux de déchets plastiques. Dans le secteur automobile, cela représente 14 %, tandis que 19 % supplémentaires devraient aboutir dans des pièces d'occasion⁹⁹. Ces résultats soulèvent la question des compromis délicats entre sécurité des consommateurs/production plus propre et efficacité des ressources via l'économie circulaire.

Certaines études^{100,101} ont constaté qu'environ 77 % des PBDE et 39 % de l'HBBD étaient conservés dans les matériaux recyclés, avec des niveaux comparables à ceux des produits des fabricants de recyclage et du marché de consommation. Les procédés de recyclage actuels ne permettent pas de retirer ces substances dangereuses, ni de les dégrader. En effet, il a été mis en évidence que le recyclage mécanique n'a pas permis de retirer les composés bromés des déchets. Cependant, ces recyclages génèrent parfois des sous-produits de dégradation des POP. Selon une estimation en utilisant le taux de transfert, environ 235 à 688 tonnes de PBDE sont entrées dans les flux de recyclage chaque année au cours des cinq dernières années. Une autre étude¹⁰² a analysé la faisabilité de séparer les plastiques contenant des retardateurs de flammes des téléviseurs à écran à cristaux liquides en fin de vie. La caractérisation des boîtiers de ce flux de déchets a indiqué une concentration de 18 % en poids de retardateurs de flammes à base de brome et de 31 % en poids de retardateurs de flammes à base de phosphore, le reste n'en contenant pas. Les tests de miscibilité effectués ont indiqué que pour cette fraction, une dilution d'au moins un facteur 10 avec du matériel vierge est requise¹⁰³.

En outre, il est aussi important d'évoquer la présence des BFR dans les cartes électroniques. Dans l'étude de Chen Y. et al.¹⁰⁴ Les analyses, menées à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS), ont révélé la présence de TBBPA et divers PBDE dans les boîtiers d'ordinateurs et de télévisions. Quant à elles, les cartes électroniques contenaient principalement du pentabromodiphényléther et du hexabromodiphényléther à des concentrations respectives de 14 567 mg/kg et 2 718 mg/kg, ce qui illustre la forte présence de ces agents polluants.

Ainsi, le recyclage des DEEE est important à réaliser, mais il n'est pas sans risque et donc des normes de sécurité doivent être mises en place afin d'éviter que des substances dangereuses circulent de nouveau dans le monde. Ces documents mettent en avant l'importance des seuils mis en place dans les réglementations. De plus, il convient de rappeler que les plastiques issus des flux de recyclage de ce type de déchets ne devraient jamais se retrouver dans certaines applications telles que les jouets ou les ustensiles de cuisine. Les applications possibles pour des plastiques recyclés devraient être déterminées selon des études sur l'exposition et les risques.

Détection, identification ou quantification des POP utilisés comme retardateurs de flammes

⁹⁸ Propelling plastics into the circular economy — weeding out the toxics first, H. A. Leslie, P. E. G. Leonards, S. H. Brandsma, J. de Boer, N. Jonkers, 2016

⁹⁹ Propelling plastics into the circular economy — weeding out the toxics first, H. A. Leslie, P. E. G. Leonards, S. H. Brandsma, J. de Boer, N. Jonkers, 2016

¹⁰⁰ Transfer of POP-BFRs within e-waste plastics in recycling streams in China, Y. Li, Q. Chang, Z. Luo, J. Zhang, Y. Liu, H. Duan, J. Li, 2020

¹⁰¹ Recycling of WEEE plastics: a review, A. Buekens, J. Yang, 2014

¹⁰² Closed loop recycling of plastics containing Flame Retardants, Jer R. Peeters, P. Vanegas, L. Tange, J. Van Houwelingen, J. R. Dufflou, 2014

¹⁰³ Closed loop recycling of plastics containing Flame Retardants, Jer R. Peeters, P. Vanegas, L. Tange, J. Van Houwelingen, J. R. Dufflou, 2014

¹⁰⁴ Brominated flame retardants (BFRs) in waste electrical and electronic equipment (WEEE) plastics and printed circuit boards (PCBs), Y. Chen, J. Lia, L. Chen, S. Chen, W. Diao, 2012

Une douzaine de documents traite spécifiquement de la détection, de l'identification ou de la quantification des POP dans les plastiques. Il est important d'avoir des méthodes de détection pour minimiser une contamination involontaire des POP. Ainsi des juridictions telles que l'UE ont introduit des limites sur les concentrations de certains retardateurs de flammes dans les déchets plastiques, les équipements ou matériaux dépassant ces limites ne pouvant pas être recyclés. Les méthodes permettant de détecter la présence de POP comme retardateurs de flammes sont communes avec celles pour détecter les POP dans les DEEE. Par exemple, un article¹⁰⁵ examine les critères, en regardant le taux de faux positifs par exemple, selon lesquels le procédé basé notamment sur l'utilisation de la spectrométrie portable à fluorescence X (XRF)¹⁰⁶ offre une méthode viable pour vérifier le respect des limites existantes et futurs possibles sur les retardateurs de flammes bromés et organophosphorés chlorés dans les déchets plastiques et identifie les futures priorités de recherche. Il existe d'importantes contraintes techniques et économiques associées aux méthodes conventionnelles permettant de déterminer le respect de ces valeurs limites, ce qui conduit à identifier des méthodes moins spécifiques, mais plus simples, plus rapides et moins coûteuses, telles que la méthode XRF.

En 2015-2016, une étude¹⁰⁷ portant sur environ 500 déchets d'articles en plastique a montré que la méthode XRF était efficace jusqu'à 95 % pour vérifier le respect des limites de concentration en POP des retardateurs de flammes bromés dans les déchets. Une autre étude similaire¹⁰⁸, menée en 2019-2020, testant l'hypothèse selon laquelle l'utilisation accrue de retardateurs de flammes bromés alternatifs en remplacement des retardateurs de flammes bromés classiques réduirait l'efficacité du XRF car la concentration en brome est comparable, bien que dans un cas il n'y ait aucun POP. En comparant les résultats, l'efficacité globale du contrôle de conformité des limites de concentration a été réduite d'environ 95 % à environ 88 %, en partie à cause de la diminution de la prévalence des retardateurs de flammes bromés contenant des POP et de la présence potentiellement accrue de retardateurs de flamme alternatifs, en particulier dans les produits ayant des cycles de vie plus courts tels que l'électronique.

Pour valider ces hypothèses, une étude¹⁰⁹ a utilisé la méthode XRF pour mesurer le Br dans 120 produits de différents types de polymères. Les produits signalés par XRF comme ayant des concentrations élevées de Br (> 2 500 mg/kg) ont été soumis à une évaluation plus approfondie de la teneur en retardateurs de flammes bromés via une analyse par spectrométrie de masse et les résultats ont été comparés aux données XRF. Cela a révélé que dans 22 % des 120 produits étudiés, XRF a identifié à tort la limite de faible concentration comme dépassée. Pour améliorer ce pourcentage, la gestion des copeaux de polymère par tri par couleur a entraîné des réductions significatives des concentrations de tous les retardateurs de flammes bromés dans les polymères clairs (composition différente des polymères dans les copeaux clairs), de sorte que les limites de faible concentration n'ont pas été dépassées. Cependant, les réductions de concentration dans les polymères blancs étaient insuffisantes pour respecter ces limites.

Ainsi les études sur la détection des retardateurs de flammes bromés mettent en avant l'enjeu d'identifier le brome présent dans les composants. Dans les déchets, les polybromobiphényles, les PBDE, le tétrabromobisphénol A (TBBPA) et l'HBCD ont été analysés pour une étude¹¹⁰. Les retardateurs de flammes bromés les plus concentrés sont le décaBDE et le TBBPA. Les substances réglementées en 2018 (voir la partie sur la réglementation) représentent une minorité de toutes les substances bromées et le seul moyen pratique de trier est de mesurer le brome total en ligne. Le tri du petit électroménager, des plastiques des écrans à tubes cathodiques et des écrans plats est nécessaire pour éviter la dispersion incontrôlée de substances réglementées dans les matières premières recyclées. D'autres catégories (gros électroménager, outils électriques et électroniques, matériel d'éclairage) sont également à considérer, car leur teneur en brome total (concentration moyenne non pondérée) est élevée pour certains de ces produits.

¹⁰⁵ Assessment of brominated flame retardants in a small mixed waste electronic and electrical equipment (WEEE) plastic recycling stream in the UK, M. Alghamdi, M. A. E. Abdallah, K. Misiuta, U. Onwuamaegbu, J. Holland, L. Smith, C. Parkinson, R. McKinlay, S. Harrad, 2022

¹⁰⁶ La méthode XRF permet uniquement de connaître la teneur en Br ou en phosphore dans les matériaux. Elle ne permet pas d'identifier directement si la partie bromée identifiée est POP. Ainsi, il est nécessaire d'effectuer une analyse chimique en GC/MS-MS ou LC/MS-MS pour pouvoir identifier et quantifier les POP. De plus, l'analyse chimique des retardateurs de flamme dans les matrices plastiques reste complexe. En effet, le choix du solvant ou de la méthode d'extraction est réalisé en fonction du type de matrice et du retardateur de flamme qui est analysé.

¹⁰⁷ Portable X-ray fluorescence for the detection of POP-BFRs in waste plastics, M. Sharkey, M. A. E. Abdallah, D. S. Drage, S. Harrad, H. Berresheim, 2018

¹⁰⁸ POP-BFRs in consumer products: Evolution of the efficacy of XRF screening for legislative compliance over a 5-year interval and future trends, M. Sharkey, D. Drage, S. Harrad, W. Stubbings, A. H. Rosa, M. Coggins, H. Berresheim, 2022

¹⁰⁹ Assessment of brominated flame retardants in a small mixed waste electronic and electrical equipment (WEEE) plastic recycling stream in the UK, W. A. Stubbings, M. A. E. Abdallah, K. Misiuta, U. Onwuamaegbu, J. Holland, L. Smith, C. Parkinson, R. McKinlay, S. Harrad, 2021

¹¹⁰ WEEE plastic sorting for bromine essential to enforce EU regulation, P. Hennebert, M. Filella, 2018

La gestion des déchets contenant des retardateurs de flammes pose aussi certaines questions car le stockage à l'air libre et la combustion des déchets électroniques sont des facteurs importants qui contribuent aux émissions de substances dangereuses. La présence dans l'environnement de retardateurs de flammes émergents, en particulier les retardateurs de flamme organophosphorés oligomériques, indique que l'alternance de l'ajout de retardateurs de flammes dans les produits électroniques évolue en réponse aux réglementations nationales et internationales sur les PBDE. Les émissions de substituts provenant du stockage ouvert et de la combustion des déchets électroniques pourraient devenir plus importantes que celles des PBDE dans les années à venir. La présence et les effets environnementaux des produits de substitution doivent être considérés comme un facteur de risque au même titre que le recyclage des déchets électroniques¹¹¹. En effet, plusieurs classes de retardateurs de flamme, tels que les PBDE, les nouveaux retardateurs de flamme bromés, les déchloranes plus, ainsi que les PCB ont été mesurés dans la poussière intérieure d'habitations de cinq villages situés dans trois régions de recyclage des déchets électroniques de la province de Guangdong, en Chine méridionale¹¹². Les concentrations en PBDE, de nouveaux retardateurs de flamme bromés et des retardateurs de flamme organophosphorés dans la poussière des cinq sites étaient beaucoup plus élevées que les médianes des PCB. Le décabromodiphényléther (décaBDE ou BDE 209) et le décabromodiphényléthane étaient les deux principaux retardateurs de flamme halogénés, tandis que le phosphate de tris-(1-chloro-2-propyle) (TCIPP) et le phosphate de triphényle (TPHP) étaient les principaux retardateurs de flamme organophosphorés. Il convient d'accorder une plus grande attention à la contamination par les nouveaux retardateurs de flamme bromés et les retardateurs de flamme organophosphorés, plutôt que par les PCB, dans ces régions de Chine de recyclage des déchets électroniques.

Sur la même thématique du stockage à l'air libre, M. Yulong et al.¹¹³ se sont intéressés au transfert des retardateurs de flammes halogénées et des esters organophosphorés des produits vers l'environnement via des mécanismes tels que :

- la **volatilisation** : une pression de vapeur de contaminants plus élevée (à partir de 10–4 Pa voir 10-11Pa à 25 °C), une température accrue et des concentrations élevées dans les produits contribuent grandement à leurs émissions dans l'air, les taux d'émission les plus élevés étant généralement observés dans les premières étapes des expériences en chambre d'essai ;
- l'**abrasion** : l'abrasion des particules et des fibres des produits est omniprésente et est susceptible de contribuer aux concentrations élevées de retardateurs de flammes dans le sol et dans l'air ;
- la **lixiviation** : la lixiviation vers des milieux aqueux de retardateurs de flammes bromés est peu probable, en raison de leur très faible solubilité dans l'eau. Cependant, des conditions comprenant des eaux de pluies acides, des concentrations importantes en matières humiques dissoutes et une température élevée peuvent rendre possibles, même si très limitées, de telles émissions.

Les données sur la présence de retardateurs de flammes halogénées et des esters organophosphorés dans l'air extérieur et dans le sol à proximité des installations formelles de traitement des déchets électroniques suggèrent que ces installations exercent un impact considérable. Les décharges constituent une source potentielle de retardateurs de flammes halogénées et des esters organophosphorés dans le sol, et une mauvaise gestion de l'élimination des déchets pourrait également contribuer à la contamination de ces substances dans l'air ambiant. Les preuves actuelles suggèrent un impact minime des usines d'incinération des déchets sur la contamination des retardateurs de flamme bromés pour la présence de POP dans l'air extérieur et le sol, mais des recherches plus approfondies sont nécessaires pour le confirmer.

Pour finir sur l'impact des retardateurs de flammes, des documents se focalisent sur l'impact sur la biodiversité et la santé humaine lors du recyclage des DEEE en cherchant à identifier et quantifier la présence de différents POP. En effet, des études s'intéressent au risque d'exposition professionnelle pour les travailleurs des ateliers de recyclage de DEEE. En Chine, la plus forte concentration de PBDE dans l'air a été détectée dans un atelier de recyclage des téléviseurs, tandis que l'atelier de recyclage

¹¹¹ Flame retardant emission from e-waste recycling operation in northern Vietnam: Environmental occurrence of emerging organophosphorus esters used as alternatives for PBDEs, Matsukami, N. M. Tue, G. Suzuki, M. Someya, L. H. Tuyen, P. H. Viet, S. Takahashi, S. Tanabe, H. Takigami, 2015

¹¹² Flame retardants and organochlorines in indoor dust from several e-waste recycling sites in South China: Composition variations and implications for human exposure, F. Xu, K. Chen, Y. Zeng, X. Luo, S. Chen, B. Mai, A. Covaci, 2015

¹¹³ Formal waste treatment facilities as a source of halogenated flame retardants and organophosphate esters to the environment: A critical review with particular focus on outdoor air and soil, M. Yulong, W. A. Stubbings, M. Abou-Elwafa Abdallah, R. Cline-Cole, S. Harrad, 2022

des réfrigérateurs présentait le niveau le plus élevé de PBDE dans la poussière. Les travailleurs de ces deux ateliers de recyclage de DEEE étaient les plus exposés au décaBDE, qui représentait plus de 85 % des PBDE dans l'air et la poussière. Par rapport aux autres ateliers de recyclage de DEEE, les travailleurs de l'atelier de recyclage des boîtiers électroniques étaient également plus exposés au BDE-47 et au BDE-99. Les résultats du quotient de danger ont indiqué qu'aucun effet négatif sur la santé n'était attendu pour les travailleurs de ces ateliers. Cependant, le risque d'exposition des travailleurs de l'atelier de recyclage des déchets électroniques était plus élevé que celui des autres ateliers de recyclage des déchets électroniques. L'atelier étudié traitait une large variété de DEEE comme des téléviseurs, des petits appareils ou de gros appareils ménagers. Sur le même principe et avec des résultats équivalents, des échantillons de poussière prélevés à l'intérieur et à l'extérieur de cinq installations de recyclage de DEEE en France ont été analysés pour détecter les concentrations de PBDE, de nouveaux retardateurs de flamme bromés et l'HBCD¹¹⁴. L'exposition professionnelle des travailleurs britanniques du recyclage des déchets électroniques aux retardateurs de flamme bromés via l'ingestion de poussières était généralement inférieure à celle estimée pour les recycleurs de déchets électroniques d'autres pays, mais était comparable à l'exposition aux retardateurs de flamme bromés via l'ingestion de poussières des employés de bureau britanniques. Les estimations suggèrent que les problèmes de santé engendrés par l'ingestion de poussières de retardateurs de flamme bromés étaient minimes pour les travailleurs britanniques du recyclage des déchets électroniques selon les taux d'acceptabilité. Ces conclusions sont aussi partagées pour une installation de démantèlement en Espagne¹¹⁵. Des niveaux de concentration plus élevés ont été relevés dans la zone des tubes cathodiques par rapport à la zone de broyage, probablement en raison de la ventilation plus faible et des différents types de déchets électroniques traités. Des esters organophosphorés ont également été détectés dans les déchets électroniques solides de l'installation, ce qui souligne la nécessité d'évaluer les niveaux de polluants dans les déchets électroniques avant de procéder à leur réutilisation. Les risques cancérigènes et non cancérigènes pour la santé sont respectivement 25 et 50 fois inférieurs aux valeurs seuils de risque dans les cas les plus défavorables pour les esters. Toutefois, ce risque calculé ne tient compte que de l'exposition par inhalation pendant la journée de travail, alors que d'autres voies d'exposition (par exemple, ingestion de poussières contaminées, pénétration/perméation à travers la peau) pourraient rapprocher ces valeurs des valeurs seuils.

2.3.1.5 Les couples POP/produits-déchets

Ainsi, à travers la diversité des documents présents dans la base de données utilisée pour la revue des articles scientifiques disponibles, il est possible d'identifier un intérêt relatif aux différents POP dans les produits/déchets dans la littérature scientifique analysée et de déterminer les couples sur lesquels l'attention scientifique est focalisée. La liste de documents étudiés n'étant pas exhaustive, certains couples peuvent donc être manquants et seraient à creuser d'avantage. Dans les binomes POP/déchet majoritairement étudiés se trouvent les couples :

- PBDE / DEEE : 33 couplages,
- PBD / Plastiques (autres que DEEE) : 16 couplages,
- PBDE / Déchets solides et municipaux : 13 couplages,
- PCB / Déchets solides et municipaux : 15 couplages,
- PCB / DEEE : 15 couplages,
- HBCD / DEEE : 14 couplages,
- PCDD/F / Déchets solides et municipaux : 14 couplages
- HAP / Bois, Déchets solides et municipaux : 9 couplages.

¹¹⁴ Are UK E-waste recycling facilities a source of environmental contamination and occupational exposure to brominated flame retardants?, M. Yulong, E. Konecna, R. Cline-Cole, S. Harrad, M. A. E. Abdallah, 2023

¹¹⁵ Exposure of e-waste dismantlers from a formal recycling facility in Spain to inhalable organophosphate and halogenated flame retardants, Balasch, M. López, C. Reche, M. Viana, T. Moreno, E. Eljarrat, 2022

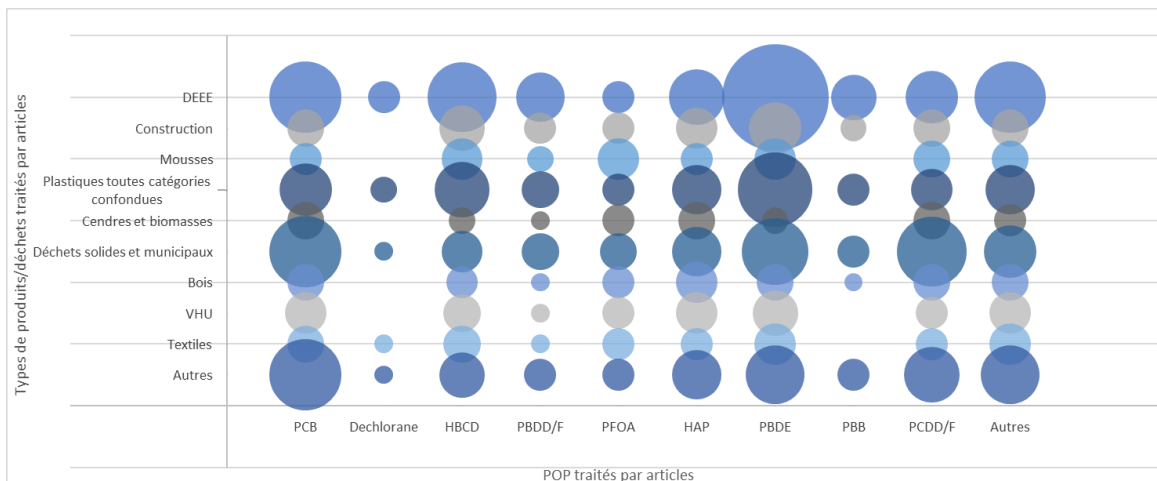


Figure 16 : Matrice de répartition des publications étudiées selon les POP et les produits-déchets concernés (RECORD, 2024)

Ces associations mettent en avant les couples principaux et points d'intérêt de la gestion des POP dans les déchets. La matrice ci-dessus (Figure 16) illustre la variété des couples possibles et le nombre de documents traitant de chaque couple. En effet, la taille des cercles est proportionnelle au taux d'appartenance dans la base de données des divers couples. Si certains sont inexistantes ou très faiblement traités, les couples cités précédemment dominent les recherches présentes dans la littérature scientifique.

2.3.2 Les connaissances et les enjeux des principaux couples POP/produits-déchets étudiés

L'inquiétude sur les POP dans les produits-déchets principalement étudiés vient de leurs propriétés physico-chimiques qui rendent les POP résistants à la dégradation naturelle, ainsi que de leur toxicité et écotoxicité, qui entraînent bioaccumulation et effets néfastes sur les organismes vivants. En outre, la prédominance de déchets contenant des POP parmi le gisement et leur production en constante croissance (doublée d'ici 2050 pour les DEEE et d'ici 2040 pour les plastiques contenant des POP) viennent renforcer les préoccupations sur le sujet, sachant qu'on découvre régulièrement des substances à rajouter à la liste des POP à l'image de l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés relatifs au PFHxS ajoutés à l'annexe I du règlement sur les POP en 2023¹¹⁶.



Étant donné que le rapport ne peut pas aborder tous les POP en détail, il a été décidé de se concentrer sur les substances les plus fréquemment citées dans la littérature scientifique, à l'exception des pesticides. Cette approche est illustrée par la Figure 16, qui met en évidence les POP retenus pour les fiches spécifiques.

2.3.2.1 Les PBDE, des POP retrouvés dans les plastiques, les EEE/DEEE et les déchets solides et municipaux

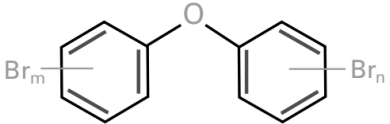
Les Polybromodiphényléthers (PBDE) sont des substances chimiques d'origine anthropique de formule chimique générale $C_{12}H_{10-n}Br_nO$ (avec n entre 1 et 10). Les PBDE sont utilisés comme produits ignifuges pour ralentir l'inflammation et la propagation des incendies. Ils sont généralement produits et commercialisés sous forme de mélanges contenant diverses combinaisons de PBDE. Depuis 2006, les mélanges commerciaux à base de pentaBDE et d'octaBDE font l'objet d'une élimination progressive à l'échelle internationale.

Le pentaBDE peut être libéré dans l'environnement pendant la fabrication de produits traités au pentaBDE, pendant leur utilisation et enfin lors de leur élimination en tant que déchets¹¹⁷.

¹¹⁶ RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2023/1608 DE LA COMMISSION du 30 mai 2023 modifiant l'annexe I du règlement (UE) 2019/1021 du Parlement européen et du Conseil aux fins d'y inscrire l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés apparentés au PFHxS, Commission européenne, 2023

¹¹⁷ Un guide pour les ONG sur les Polluants Organiques Persistants, Un Cadre d'Action pour Protéger la Santé Humaine et l'Environnement des Polluants Organiques Persistants (POP), J. Weinberg, 2008

L'octaBDE, quant à lui, a été principalement utilisé comme retardateur de flamme dans les plastiques, en particulier dans les polymères ABS. En général, l'octaBDE représente 12 à 18 % du poids du produit final. Il peut être libéré dans l'environnement au cours de sa fabrication et lorsqu'il est ajouté en tant qu'additif lors de la fabrication de certains produits. Il est également libéré au cours de l'utilisation de ces produits, et après que les produits ont été jetés comme déchets. Il y a aussi des inquiétudes sur la libération de l'octaBDE résultant de l'exportation de déchets électroniques vers les pays en voie de développement.

Les PBDE, des POP retrouvés dans les plastiques, les EEE/DEEE et les déchets solides et municipaux	
Type de POP	Polybromodiphényléthers - PBDE
Exemple de POP	PentaBDE, DécaBDE, ...
Formule chimique	$C_{12}H_{10-n}Br_nO$
Structure chimique générale	
Propriétés du POP	Ignifuge, biocumulable, volatilité, liposolubilité Faiblement soluble dans l'eau
Usage(s)	Plastique, textiles et extraction pétrolière
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Plastiques Déchets solides et municipaux EEE/DEEE Textiles Matériaux de construction et ameublement Véhicules
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Fabrication Usure Élimination : recyclage ou incinération des déchets et métaux.
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	Augmentation du risque de cancers des cellules germinales, et de cancer du sein Effets critiques sur le foie et le développement neurocomportemental
Valeurs limites pour les travailleurs	-
Impacts environnementaux – données éco-toxicologiques	
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air Interférences avec le système endocrinien chez les oiseaux, les reptiles, les poissons et chez les mammifères
Valeurs limites	-

Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Interdits – 2023 (pentaBDE et octaBDE : 2009 / décaBDE : 2010)
	Stockholm	Interdits – 2009 (pentaBDE et octaBDE : 2009 / décaBDE 2017)
Européens	-	Interdits – 2004 (pentaBDE et octaBDE) Interdits – 2017 (décaBDE)
Nationaux	France	Interdits – 2004
Textes réglementaires sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	Dans les déchets, la valeur limite est fixée pour la somme des 4, 5, 6, 7, 10-BDE à 500 mg/kg lors de l'entrée en vigueur du nouveau règlement en 2022, une réduction automatique à 350 mg/kg, trois ans après l'entrée en vigueur ; et une autre réduction automatique à 200 mg/kg, cinq ans après l'entrée en vigueur, à condition que la valeur limite pour mettre cette substance sur le marché ne soit pas supérieure.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes: les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • INERIS - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, PENTABROMODI-HENYLETHERS • Gouvernement Canada - Les polybromodiphényléthers (PBDE) – fiche d'information 		

2.3.2.2 Les PCB, des POP retrouvés dans les DEEE et les déchets solides et municipaux

Les Polychlorobiphényles (PCB) sont des produits organiques chlorés largement utilisés avant les années 1980 comme lubrifiants dans les turbines et les pompes ainsi que dans la formulation des huiles de coupe pour l'usinage du métal, les soudures, les adhésifs, les peintures et les papiers autocopiants sans carbone. Dans les années 80, la production de PCB a été interdite suite à la mise en évidence des dangers pour l'homme et l'environnement. Les PCB sont persistants et durables dans l'environnement et ils sont facilement bioaccumulables. La famille des PCB regroupe 209 molécules également appelés congénères. Parmi les PCB, sept congénères sont particulièrement retrouvés dans les produits contaminés et représentent généralement près de 50% de la quantité de PCB. Leur dosage est ainsi utilisé pour quantifier la contamination d'un produit par les PCB, on les appelle PCB indicateurs (PCBi). Les PCB se divisent en deux catégories : les PCB dioxine-like, qui ont des effets toxiques similaires à ceux des dioxines, et les PCB non dioxine-like, dont les effets toxiques sont distincts. Le règlement POP inclut une ligne spécifique pour les PCB en général, sans distinction, ainsi qu'une ligne dédiée aux dioxines qui inclue les PCB dioxine-like, reflétant les différentes préoccupations toxicologiques associées à ces substances.

En outre, les polychloroterphényles soit le PCT, similaires aux PCB par leur structure et leurs usages industriels, sont des polluants organiques persistants aux effets toxiques et écotoxiques préoccupants, susceptibles d'être également réglementés dans le cadre du règlement POP. Ce sont des mélanges de composés chlorés, qui dérivent du terphényle utilisés dans les fluides caloporteurs ou isolants

électriques et les plastifiants, en raison de leur stabilité thermique et chimique, ainsi que de leurs propriétés ignifuges.

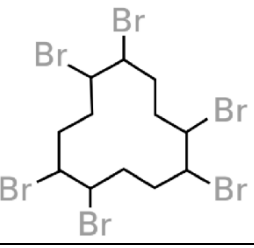
Les PCB, des POP retrouvés dans les DEEE et les déchets solides et municipaux	
Type de POP	Polychlorobiphényles – PCB
Exemple de POP	3,3',4,4'-tetrachlorobiphényle, 2,3,3',4,4',5-pentachlorobiphényle, 3,3',4,4,5,5'-hexachlorobiphényle, ...
Formule chimique	$C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$
Structure chimique générale	
Propriétés du POP	Stable à la chaleur, bioaccumulable, diélectrique
Usage(s)	Transformateurs, condensateurs, ...
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Déchets solides et municipaux EEE/DEEE Huiles hydrauliques et isolantes, fluides caloporteurs Véhicules/VHU Cartes électroniques Déchets de construction et de démolition Plastiques
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Fabrication et durée de vie du produit Production et recyclage des métaux
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	Perturbateurs endocriniens et cancérigène Inducteurs enzymatiques susceptibles de perturber le métabolisme.
Valeurs limites pour les travailleurs	Valeur moyenne d'exposition : - 1 mg/m ³ PCB 42 % de chlore - 0,5 mg/m ³ PCB 54 % de chlore
Impacts environnementaux – données éco-toxicologiques	
Descriptions	Milieus impactés : sédiments, sols, eau et air Impact sur le réseau trophique notamment les poissons gras et sur leurs prédateurs dont les oiseaux pêcheurs et les mammifères marins tels que les cétacés.
Valeurs limites	-

Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Interdits – 2023
	Stockholm	Interdits – 2001
Européens		Interdits – 2004
Nationaux	France	Interdits – 1987
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	50 mg/kg 5 µg/kg pour la somme des PCDD, PCDF et dl-PCB, la limite est calculée comme la somme des PCDD, PCDF et dl-PCB selon les facteurs d'équivalence toxique (TEF) indiqués dans la partie 2, au troisième paragraphe, dans le tableau, de l'annexe V.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • INRS - Biphényles chlorés, Fiche toxicologique synthétique • INERIS - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France - LES POLYCHLOROBIPHENYLES – PCB • ANSES - PCB, carte d'identité 		

2.3.2.3 Les HBCD, des POP principalement retrouvés dans les DEEE

L'Hexabromocyclododécane (HBCD) est utilisé principalement dans les plastiques, les textiles, les meubles, l'électronique et les matériaux isolants car il possède la propriété de retardateur de flamme. A titre illustratif, en Suisse, plus de 20 000 tonnes en étaient produites chaque année lorsqu'il n'était pas encore interdit, dont la majeure partie destinée aux panneaux isolants en polystyrène servant à l'isolation des bâtiments¹¹⁸. L'état actuel de la technique ne permet pas un recyclage des isolations contenant de l'HBCD. Cependant, il pourrait être possible à l'avenir de séparer le HBCD au moyen de solvants et de récupérer le polystyrène.

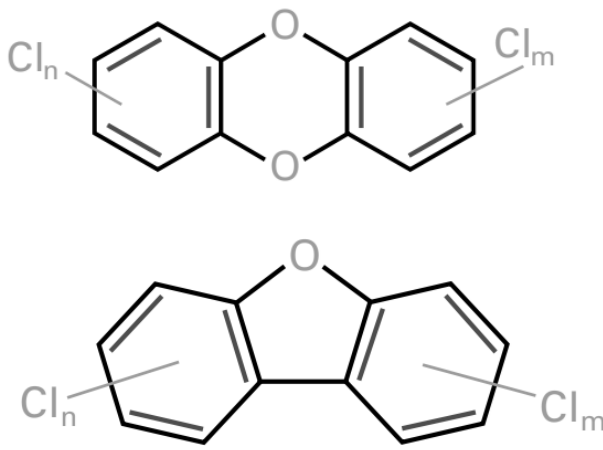
¹¹⁸ La fin mondiale du retardateur de flamme, La revue POLYTECHNIQUE, 2013

Les HBCD, des POP principalement retrouvés dans les DEEE		
Type de POP	Hexabromocyclododécane - HBCD	
Exemple de POP	1,2,5,6,9,10-hexabromocyclodécane, gamma-hexabromocyclododécane	
Formule chimique	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆	
Structure chimique générale		
Propriétés du POP	Ignifuge, bioaccumulable et bioamplifiable	
Usage(s)	Plastique Isolation thermique dans la construction	
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	EEE/DEEE Plastique Textiles Meubles Mousses rigides extrudées (XPS) ou expansées en polystyrène (EPS) isolants Parfois en non-intentionnel dans les emballages non alimentaires	
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Pendant la vie du produit	
Impacts		
Impacts sanitaires – données toxicologiques		
Descriptions	Perturbateur endocrinien	
Valeurs limites pour les travailleurs	-	
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques		
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air Toxique pour les organismes aquatiques.	
Valeurs limites	-	
Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Interdits - 2023
	Stockholm	Interdits – 2014
Européens		Interdits – 2016
Nationaux	France	Interdits
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	500 mg/kg La Commission réexamine cette limite de concentration et adopte, le cas échéant, une proposition législative visant à abaisser cette valeur à 200 mg/kg au plus tard le 30 décembre 2027.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.	
Sources		

- Protocole d'Aarhus
- Convention de Stockholm
- Règlement POP EU
- INERIS - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France – HEXABROMOCYCLODODECANE
- Gouvernement Canada - Hexabromocyclododécane (HBCD) – fiche d'information

2.3.2.4 Les PCDD/F, des POP produits lors du traitement thermique des déchets

Les dioxines et les furanes sont extrêmement stables et bioaccumulables. Ce sont des polluants persistants qui s'accumulent dans l'environnement jusqu'à s'intégrer dans les chaînes alimentaires. Tous les êtres humains sont confrontés à une exposition de fond aux dioxines qui ne devrait pas avoir d'effet sur la santé. Néanmoins, en raison du potentiel toxique élevé de cette classe de produits chimiques, des efforts sont nécessaires pour réduire les niveaux actuels de l'exposition de fond. Il est à noter que les PCDD et PCDF n'ont jamais été utilisés en tant que produits commerciaux, et n'ont pas été fabriqués intentionnellement sauf pour des besoins de laboratoire.

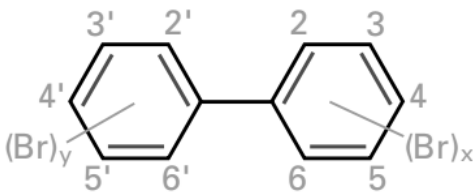
Les PCDD/F, des POP produits lors du traitement thermique des déchets	
Type de POP	Polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) / polychlorodibenzo-furanes (PCDF)
Exemple de POP	2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine, TCDD
Formule chimique	$C_nH_nO_nCl_n$
Structure chimique générale	 <p>PCDD</p> <p>PCDF</p>
Propriétés du POP	Stable, bioaccumulable
Usage(s)	Pas d'usages volontaire
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Déchets solides et municipaux Cendres et déchets industriels
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Activités illicites (brûlage des câbles pour récupérer le cuivre) Disfonctionnement d'un incinérateur
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	Cancérigène Troubles fonctionnels, altérations immunologiques Atteinte du système reproducteur mâle ou femelle Endommagement du système immunitaire
Valeurs limites pour les travailleurs	-
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques	
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air Les PCDD/F peuvent être absorbés par les mammifères et animaux marins.
Valeurs limites	-

Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Réduction de sa production – 1998
	Stockholm	Réduction de sa production – 2001 Interdits
Européens		Dans les déchets, une valeur limite de 10 µg/kg s'applique aux cendres volantes provenant d'unités de biomasse destinées à la production de chaleur et d'électricité contenant des PCDD/F, ou contaminées par ces substances, jusqu'au 30 décembre 2023. La valeur de 5 µg/kg prévue à l'annexe IV s'applique aux cendres volantes provenant d'unités de biomasse destinées à la production de chaleur et d'électricité à partir du 31 décembre 2023. Une valeur de 15 µg/kg continue de s'appliquer aux cendres et suies provenant de ménages privés contenant PCDD/F énumérés à l'annexe IV ou contaminés par ceux-ci jusqu'au 31 décembre 2024. Pour les cendres et suies provenant de ménages privés contenant des PCDD/F ou contaminés par ceux-ci, la valeur de 5 µg/kg prévue à l'annexe IV s'applique à partir du 1er janvier 2025.
Nationaux	France	Emission inférieure à 1 800 g-ITEQ par an
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV		5 µg/kg en TEQ (donc avec les PCB dioxine like (PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 169, 146, 157, 167, 189) d'après l'annexe V)
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V		Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - DIOXINES • CITEPA - DIOXINES ET FURANES • OMS – Dioxines • AFSSA - Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Evaluation de l'exposition de la population française 		

2.3.2.5 Les PBB, des POP retrouvés dans des DEEE, des déchets solides et municipaux ou dans des déchets plastiques

Les Polybromobiphényles (PBB) sont principalement utilisés comme retardateurs de flamme. Utilisés depuis plusieurs décennies, ils sont devenus des polluants presque omniprésents dans l'environnement. Les PBB sont désormais des substances contrôlées en vertu de la directive sur la restriction des substances dangereuses, ce qui limite leur utilisation dans les produits électriques et électroniques vendus dans l'UE. Les produits contenant du PBB sont classés dans la rubrique des CMRs (Carcinogènes, Mutagènes et Repro-toxiques). Ils peuvent donc se révéler toxiques en cas d'inhalation, d'ingestion ou de contact cutané. Il est intéressant de noter que les PBDE et les PBB sont des classes d'hydrocarbures bromés, également appelés produits chimiques ignifuges bromés. Ils sont structurellement similaires, contenant une structure biphényle centrale entourée d'un maximum de 10 atomes de brome.

Dans les PBB, seul l'hexabromobiphényle est classé POP et donc présent dans le règlement POP. Cependant dans la réglementation Restriction of Hazardous Substances (ROHS), ce qui est réglementé est la somme de PBB.

Les PBB, des POP retrouvés dans des DEEE, des déchets solides et municipaux ou dans des déchets plastiques	
Type de POP	Polybromobiphényles – PBB
Exemple de POP	hexabromobiphényle (hexaBB)
Formule chimique	C_nBr_n
Structure chimique générale	
Propriétés du POP	Ignifuge, biocumulable, volatilité, liposolubilité Faiblement soluble dans l'eau Retardateurs de flamme bromés
Usage(s)	Extraction pétrolière, plastique, textiles, appareils ménagers et mousses plastiques
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Plastiques Déchets solides et municipaux EEE/DEEE Textiles Peinture
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Fabrication, pendant la durée de vie
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	Immunotoxicité et troubles liés au système nerveux central Problème cutané Carcinogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR)
Valeurs limites pour les travailleurs	-
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques	
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air Perturbation du système endocrinien chez certains animaux
Valeurs limites	-

Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Interdits
	Stockholm	Interdits – 2009
Européens		Interdits – 2011
Nationaux	France	Interdits
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	50 mg/kg uniquement pour l'hexanromodiphényle	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • Toxicological profile for polybrominated biphenyls (PBBS) • ANSES - Surveillance des polluants organiques persistants dans les denrées alimentaires d'origine animale en 2014 • Gouvernement Canada - Liste des substances toxiques : biphényles polybromés 		

2.3.2.6 Les HAP, des POP retrouvés lors de la combustion de certains produits ou déchets

Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) se forment par évaporation mais sont principalement rejetés lors de la combustion de matière organique (notamment par les moteurs diesel) sous forme gazeuse ou particulaire. Ces polluants sont généralement peu biodégradables et toxiques pour l'environnement et la santé humaine. En outre, la combustion domestique du bois et du charbon qui s'effectue souvent dans des conditions mal maîtrisées (en foyer ouvert notamment) participe également à la présence de HAP dans l'atmosphère.

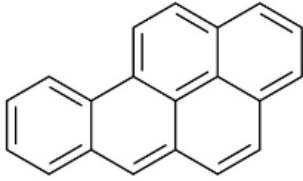
Les mâchefers et les REFIOM (résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères) provenant des incinérateurs de déchets dangereux (DND) et des déchets ménagers (DD) contiennent des HAP en raison de la combustion incomplète des déchets. Les particules issues de ces incinérations contiennent souvent des concentrations élevées de HAP, qui peuvent se déposer dans l'environnement local.

Selon le nombre de cycles (au sens chimique du terme), ils sont classés en HAP légers (jusqu'à trois cycles) ou lourds (au-delà de trois cycles), et ont des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques très différentes.

Il est à noter qu'aux fins des inventaires d'émissions réalisés dans le cadre de l'étude des valeurs des HAP pour déterminer les valeurs seuils, les quatre indicateurs de composés suivants sont utilisés : benzo(a)pyrène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indéno(1,2,3-cd)pyrène comme indiqué dans la note de bas de page concernant les HAP dans l'annexe III partie B.^{119,120}

¹¹⁹ [HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES \(FORMAT SECTEN\)](#), Citepa

¹²⁰ [Liste des substances soumises au règlement POP](#), Echa

Les HAP, des POP retrouvés lors de la combustion de certains produits ou déchets	
Type de POP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques – HAP
Exemple de POP	Benzo[def]chrysène, benzo(k)fluoranthène, Benzo[e]acephenanthrylène, indeno(1,2,3-cd)pyrène
Formule chimique	C_nH_m
Structure chimique générale	
Propriétés du POP	Faible solubilité dans l'eau, bioaccumulable
Usage(s)	Combustion et chauffage, industrie, production d'aluminium
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Bois, carburant, tabac (mégots) Charbon et pétrole Polymères Huiles de pyrolyse de différentes matières plastiques Produit de la gazéification d'un matériau solide tel que le charbon ou la biomasse Teintures et pigments Caoutchouc Produits cosmétiques Pneumatiques Mâchefer / REFIOM / Cendres de bois / suie Enrobés routiers
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Combustion de la biomasse
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	Cancérogène pour le benzo(a)pyrène Diminution de la réponse du système immunitaire et augmentation des risques d'infection Impacts sur le foie, sanguins, immunologiques et provoquer la dégénérescence des artères
Valeurs limites pour les travailleurs	
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques	
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air
Valeurs limites	

Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Réduction de sa production en deçà de leurs niveaux de 1990 – 2009 Interdits pour le Naphtalène – 2023
	Stockholm	
Européens		Substances soumises à des dispositions en matière de limitation des émissions – 2004
Nationaux	France	Emission inférieure à 45,6 tonnes par an
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	Les HAP ne sont pas présents à l'annexe IV.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	<p>Les HAP ne sont pas présents à l'annexe V. Pour les Naphtalènes polychlorés :</p> <p>Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP.</p> <p>L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4).</p> <p>Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.</p>	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • INERIS - Données technico-économiques sur les substances chimiques en France – HAP • Confédération Suisse - Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) • INERIS - Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) • Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formed During the Pyrolysis Process of Plastics – Characterization, Quantification and Risk Assessment 		

À noter que les naphtalènes sont des HAP composés de deux cycles benzéniques fusionnés. Ils sont principalement utilisés dans la production de produits chimiques comme les plastifiants, les solvants et les insecticides. Leur présence dans l'environnement résulte souvent de la combustion incomplète de matières organiques, comme dans les feux de forêt ou les émissions industrielles. Le naphtalène est également trouvé dans des produits de consommation, tels que les boules antimites. Toutefois, il est considéré comme potentiellement dangereux pour la santé humaine en raison de ses propriétés cancérigènes et toxiques. Cette substance est classée comme POP dans le règlement POP et sa valeur limite de caractérisation d'un déchet POP dans l'annexe IV est de 10 mg/kg.

2.3.2.7 Les PBDD/F, des POP principalement émis lors de la combustion de DEEE

Le développement de retardateurs de flamme bromés participe à l'augmentation de la présence des Polybromodibenzo-p-dioxines et polybromodibenzo-furanes PBDD/F car ces derniers peuvent se former par un phénomène de transformation chimique initié par la présence de molécules de structure identique. Les PBDD/F peuvent aussi être issus, dans la phase de post-combustion, du carbone organique résiduel et de composés bromés présents dans les cendres. Enfin, les PBDD/F peuvent être

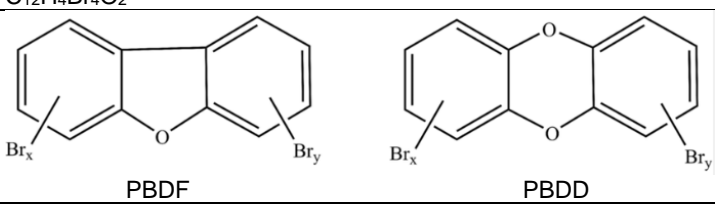
déjà présents dans les retardateurs de flammes bromés sous forme d'impuretés, que la combustion va libérer.

Deux types de combustion peuvent être à l'origine de rejets de dioxines et furanes bromés : les combustions en conditions contrôlées, comme dans le cas des installations d'incinération par exemple, lorsque les procédés (traitement, refroidissement, etc.) ne parviennent pas à éliminer totalement ces composés ; les combustions incontrôlées de type feu domestique ou industriel de nature, le plus souvent, accidentelle.

Comparativement aux PCDD/F, les connaissances relatives aux PBDD/F, sont encore parcellaires. De plus, ces derniers ne sont pas inscrits sur la liste des polluants organiques persistants visés par la convention de Stockholm¹²¹.

Il faut noter comme point de vigilance que les PBDD/F ont trois mécanismes de formations selon l'INERIS. En particulier ces substances peuvent être présente dans les retardateurs de flamme bromés type PBDE mais surtout néoformé en cas d'incendie d'où une question concernant les déchets d'incendie/

¹²¹ [EXPOSITIONS AUX DIOXINES ET FURANES BROMES, Synthèse des données disponibles : sources, émissions, exposition et toxicité pour l'homme](#). Ineris, 2020

Les PBDD/F, des POP principalement émis lors de la combustion de DEEE		
Type de POP	Polybromodibenzo-p-dioxines (PBDD) / polybromodibenzo-furanes (PBDF)	
Exemple de POP	Tétrabromés, pentabromés, hexa bromé, ...	
Formule chimique	$C_{12}H_4Br_4O_2$	
Structure chimique générale		
Propriétés du POP	Ignifuge	
Usage(s)	Retardateur de flamme	
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Plastiques Déchets solides et municipaux, EEE/DEEE	
Voie d'émission du POP dans l'environnement	De manière non-intentionnelle : <ul style="list-style-type: none"> • Fabrication • Usure • Elimination : recyclage ou incinération des déchets et métaux. 	
Impacts		
Impacts sanitaires – données toxicologiques		
Descriptions	Impact sur le système endocrinien et le système reproductif	
Valeurs limites pour les travailleurs	Valeur limite d'exposition professionnelle : 50 pgTEQ/m ³ en Allemagne	
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques		
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air	
Valeurs limites	-	
Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Non inclus dans la réglementation
	Stockholm	Non inclus dans la réglementation
Européens		Non inclus dans la réglementation
Nationaux	France	Non inclus dans la réglementation
	Allemagne	Pour la somme de tous les composés, la valeur limite est de 5 µg/kg
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	Les PBDD/F ne sont pas présents à l'annexe IV.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Les PBDD/F ne sont pas présents à l'annexe V.	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • INERIS - QUE SAIT-ON SUR LES EMISSIONS DE DIOXINES ET FURANES BROMES ? • INERIS - Caractérisation des émissions de dioxines et furanes bromés des installations d'incinération de déchets dangereux • Basler, 1995 		

2.3.2.1 Les PFAS, des POP retrouvés dans des déchets plastiques

Les per et polyfluoroalkylées, plus connus sous le nom de PFAS, sont des substances aux propriétés chimiques spécifiques qui expliquent leur utilisation dans de nombreux produits de la vie courante : vêtements techniques, mousses à incendie, emballages alimentaires, etc. Certaines PFAS, comme l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorononanoïque (PFNA) notamment, ont attiré l'attention en raison de leur toxicité et de leur écotoxicité, de leur caractère de polluant très persistant, et d'une présence déjà généralisée dans l'eau, l'air, le sol, les pluies et les écosystèmes (faune en particulier) et dans le sang de la population générale humaine et de la faune. Ils sont retrouvés dans les organismes vivants sur toute la planète.

Concernant l'aspect réglementaire des PFAS, il évolue en fonction des résultats des recherches actuelles et de l'évolution de la réglementation sur certains PFAS plus spécifiques comme les PFOS et les PFOA.

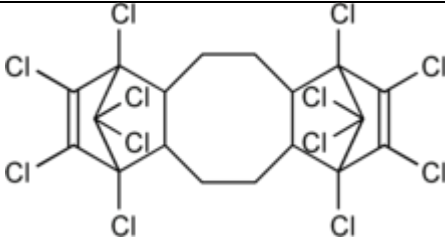
Les PFAS, des POP retrouvés dans des déchets plastiques	
Type de famille (famille complète pas encore qualifiée comme POP)	Per et polyfluoroalkylées – PFAS
PFAS listée en annexe IV du règlement POP	Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) Acide perfluorooctanoïque (PFOA) Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS)
Formule chimique	$-C_nF_{2n}-$
Structure chimique générale	<p>PFOS</p> <p>PFOA</p> <p>PFHxS</p>
Propriétés du POP	Ignifuge et hydrophobe
Usage(s)	Plastique, Industrie
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	<p>Polymères</p> <p>Mousse anti-incendie</p> <p>Textiles : vêtements de pluie, moquettes et tissus d'ameublement</p> <p>Composants pour emballages alimentaires en papier et en carton</p> <p>Produits utilisés pour la photographie, la lithographie</p> <p>Articles de sports comme les farts utilisés sous les skis</p> <p>Isolant pour fils électriques, câbles électroniques</p> <p>Produits ménagers, agents ou imperméabilisants ou antitaches</p> <p>Ustensiles de cuisine anti-adhésion</p> <p>Embouts buccaux de cigarette électronique</p> <p>Lubrifiants et cires pour sols et voitures,</p> <p>Cosmétiques</p> <p>Vernis et peintures</p> <p>Technologies dans le secteur des énergies (Piles à combustible, ...)</p>
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Pendant la vie du produit
Impacts	
Impacts sanitaires – données toxicologiques	
Descriptions	<p>Cancérogène</p> <p>Perturbateur endocrinien</p> <p>Impact le foie</p> <p>Maladies thyroïdiennes</p> <p>Troubles de la reproduction, de la fertilité</p>
Valeurs limites pour les travailleurs	Limite maximale admissible de 4,4 ng/kg de poids corporel pour la somme des PFOA, PFNA, PFHxS et PFOS
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques	
Descriptions	<p>Milieus impactés : sédiments, sols, eau et air</p> <p>La biodiversité accumule les PFAS</p>
Valeurs limites	-
Réglementations	
Textes réglementaires sur l'usage des substances	
Internationaux	Aarhus PFOS : interdits en 2023

	Stockholm	PFOS : interdits en 2009 PFOA : interdits en 2020 PFHxS (acide perfluorohexanesulfonique) : interdits en 2022
Européens		PFOS : interdits en 2010 PFOA : interdits en 2020 PFHxS (acide perfluorohexanesulfonique) : interdits en 2022 Teneurs maximales à respecter pour les eaux potables : 0,50 µg/l pour le total des PFAS ; ou 0,10 µg/l pour la somme des 20 PFAS substances préoccupantes
Nationaux	France	Application des règlements européens sur les différents PFAS
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV		PFOS : 50 mg/kg PFOA : La valeur limite maximale a été fixée à 1 mg/kg pour les PFOA et leurs sels et à 40 mg/kg pour la somme des composants liés aux PFOA, avec une clause de révision visant à réévaluer la situation en 2027. PFHxS : La valeur limite maximale a été fixée à 1 mg/kg pour les PFHxS et leurs sels et à 40 mg/kg pour la somme des composants liés aux PFxS, avec une clause de révision visant à réévaluer la situation en 2027.
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V		Pour les PFOS, PFOA et PFHxS : Si un déchet est caractérisé POP, il faut que les POP qu'il contient soient détruits ou irréversiblement transformés de telle sorte que les déchets et rejets restants ne présentent plus les caractéristiques de POP. L'annexe V détaille les opérations d'élimination et de valorisation lors qu'elles sont effectuées de manière à garantir la destruction ou la transformation irréversible de la teneur en polluants organiques persistants : Traitement physico-chimique (D9), Incinération à terre (D10), Utilisation principale comme combustible ou autre moyen de produire de l'énergie, à l'exclusion des déchets contenant des PCB (R1) ou Recyclage ou récupération des métaux et des composés métalliques, dans les conditions suivantes : les opérations sont limitées aux déchets issus de procédés sidérurgiques, tels que les poussières et les boues provenant de l'épuration des fumées, la calamine et les poussières de filtration contenant du zinc et provenant des aciéries, les poussières de systèmes d'épuration des gaz de fonderies de cuivre et autres déchets similaires et les résidus de lessivage contenant du plomb provenant de la production de métaux non ferreux (R4). Les opérations d'élimination ou de valorisation susceptibles d'aboutir à la valorisation, au recyclage, à la récupération ou au réemploi de substances en tant que telles figurant sur la liste de l'annexe IV sont interdites.
N		
<ul style="list-style-type: none"> • Protocole d'Aarhus • Convention de Stockholm • Règlement POP EU • ANSES – PFAS : des substances chimiques dans le collimateur • INRS - Acide perfluorooctanoïque et ses sels (PFOA et ses sels) • INRS - Acide perfluorooctanesulfonique et ses sels (PFOS et ses sels) • PFAS, ce qu'il faut savoir 		

2.3.2.2 Le Déchlorane plus, un POP retrouvé dans des déchets plastiques

Le déchlorane n'est pas naturellement présent dans l'environnement. Cependant, le déchlorane plus DP a été découvert pour la première fois dans l'environnement en 2006 dans l'air autour des Grands Lacs en Amérique. Le déchlorane plus a été ajouté à la liste des substances extrêmement préoccupantes de REACH le 15 janvier 2018. Il a été proposé de le rajouter sur la liste des substances à inclure dans le règlement POP par la Norvège en 2020. Puis, en 2023, la Conférence des Parties de la Convention de Stockholm des Nations unies sur les polluants organiques persistants a pris la décision d'éliminer l'utilisation du déchlorane plus, en inscrivant ce produit chimique à l'annexe A de la Convention.

Le déchlorane plus, des POP retrouvés dans des déchets plastiques	
Type de POP	Déchlorane Plus - DP
Exemple de POP	1,6,7,8,9,14,15,16,17,17,18,18-Dodecachloropentacyclo[12.2.1.1.16,9.02,13.05,10]octadeca-7,15-diene ("Dechlorane Plus"™)

	(1S,2S,5R,6R,9S,10S,13R,14R)-1,6,7,8,9,14,15,16,17,17,18,18-Dodecachloropentacyclo[12.2.1.1.1 ⁶ , ⁹ .0 ² , ¹³ .0 ⁵ , ¹⁰]octadeca-7,15-diene 1,6,7,8,9,14,15,16,17,17,18,18-dodecachloropentacyclo[12.2.1.16,9.02,13.05,10]octadeca-7,15-diene	
Formule chimique	C ₁₈ H ₁₂ Cl ₁₂	
Structure chimique générale		
Propriétés du POP	Ignifuge	
Usage(s)	Additif dans les plastiques	
Produits et déchets dans lesquels ces POP sont retrouvés	Gaines de câbles et de fils EEE/DEEE Véhicule Connecteurs en plastique dur et matériaux de couverture en plastique.	
Voie d'émission du POP dans l'environnement	Fabrication Utilisation en milieu industriel	
Impacts		
Impacts sanitaires – données toxicologiques		
Descriptions	-	
Valeurs limites pour les travailleurs	-	
Impacts environnementaux – données écotoxicologiques		
Descriptions	Milieux impactés : sédiments, sols, eau et air	
Valeurs limites	-	
Réglementations		
Textes réglementaires sur l'usage des substances		
Internationaux	Aarhus	Non inclus dans la réglementation
	Stockholm	Interdits – 2023
Européens		Non inclus dans la réglementation
Nationaux	France	Interdits
Textes réglementaires européens sur les substances dans les déchets		
Valeur limite de caractérisation d'un déchet POP Annexe IV	Les DP ne sont pas présents à l'annexe IV.	
Traitement si le déchet est un déchet POP Annexe V	Les DP ne sont pas présents à l'annexe V.	
Sources		
<ul style="list-style-type: none"> • Convention de Stockholm • Gouvernement Canada - Déchlorane plus - fiche d'information • L'UE ajoute le déchlorane plus, l'UV-328 et le méthoxychlore à l'annexe A de la convention de Stockholm 		

2.3.3 Orientations futures de la recherche

Les orientations futures de la recherche sont un bon indicateur des problématiques actuelles présentes sur les POP et les points futurs à améliorer. Si de nombreux documents s'intéressent à la thématique des POP dans les déchets, leur traitement et leur impact sur l'environnement une majorité d'entre eux conclue sur le manque d'informations existant à l'heure actuelle sur leur gestion dans les déchets. En effet, leur quantification, leur identification de manière facile et systématique, leur élimination, leur propagation suite au traitement des déchets, le recyclage efficace des éléments contenant des POP sont encore des sujets importants à creuser. L'impact de ce maillon du flux des POP sur les êtres humains et l'environnement est aussi régulièrement mis en avant comme négligé et à étudier.

A l'échelle européenne comme nationale, il existe de nombreux appels à projets permettant le financement de projets de recherches pouvant porter sur ces problématiques :

- **Appels à projets européens :**

- **PARC** : lancé en mai 2022 en France et issu d'un projet Horizon Europe, le partenariat européen pour l'évaluation des risques liés aux substances chimiques (PARC) regroupe près de 200 partenaires scientifiques de 28 pays et des agences de l'Union européenne. Son ambition est de concevoir une évaluation des risques des substances chimiques de nouvelle génération afin de mieux protéger la santé et l'environnement.
- **Appels à projet en cours pour Horizon Europe** :
 - Les appels du Cluster 6 - Bio-Environnement :
 - Innovative technologies for zero pollution, zero-waste biorefineries
 - Circular solutions for textile value chains through innovative sorting, recycling, and design for recycling (Circular economy and bioeconomy sectors)
 - Increasing the circularity in plastics value chains (Circular economy and bioeconomy sectors)
 - Circular solutions for textile value chains based on extended producer responsibility
 - Increasing the availability and use of non-contentious inputs in organic farming
 - Les appels Industrie du Cluster 4 :
 - Biodegradable polymers for sustainable packaging materials (IA)
- **Appels à projets nationaux** :
 - **Appels à projet ADEME** :
 - Reconversion des friches industrielles - Études et techniques de dépollution exemplaires - Grand Est, jusqu'au 30/04/2024
 - Appel à projets national « Recyclage des plastiques, composites et élastomères », jusqu'au 29/04/2024
 - Réalisation d'études pour la création, l'extension ou la modernisation de centres de tri des déchets | aide
 - Solutions innovantes pour l'amélioration de la recyclabilité, du recyclage et de la réincorporation des matériaux (RRR), jusqu'au 29/04/2024
 - **Appels à projet ANR** :
 - Solutions fondées sur la nature pour la biodiversité, le bien-être humain et le changement transformateur – BiodivNBS (Appel Biodiversa+ 2023-2024)
 - Chaire d'excellence en biologie/santé - Appel à projets - 2023

Ces divers appels à projets démontrent un intérêt de la science pour le futur de notre planète et l'impact que l'industrie et ses polluants ont sur la biodiversité et l'être humain. Même s'ils ne sont pas spécifiquement ciblés sur les POP, leur gestion dans les déchets peuvent entrer dans les critères de financement, ce qui ouvre de fortes possibilités pour le futur de la science sur la gestion des déchets contenant des POP.

3 Inventaire des produits/futurs déchets contenant des POP et analyse des flux

3.1 Panorama des produits/futurs déchets contenant des POP

3.1.1 Périmètre du panorama et méthodologie employée

3.1.1.1 Périmètres techniques, temporels, thématiques et géographiques

Comme évoqué précédemment, l'étude se focalise sur les flux en France de produits et déchets contenant des substances chimiques qualifiées de POP. Le périmètre géographique de ce panorama est limité à la France avec une focalisation sur les flux nationaux et importés de produits contenant des POP.

Les données collectées dans le cadre de ce panorama sont, pour chaque produit/déchet identifié comme contenant des POP :

- Sa durée de vie/d'utilisation, variant selon les secteurs d'utilisation et les produits étudiés

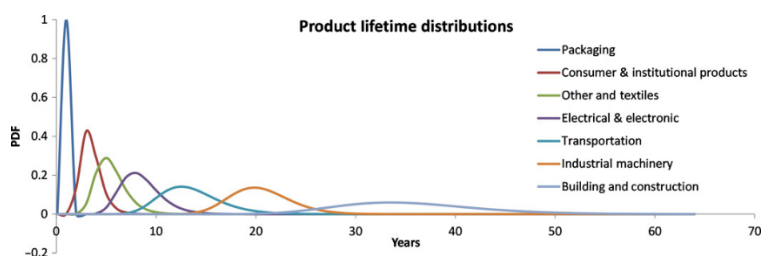


Figure 17 : Distributions de la durée de vie des produits pour les huit secteurs d'utilisation industrielle sous forme de fonctions de distribution de probabilité log-normales (Geyer, R., 2017¹²²)

- Les quantités mises sur le marché en France (production nationale et imports), notamment sur la période historique correspondant à la durée de vie
- La composition du produit, i.e. la quantité de POP dans le produit
- Le taux de collecte du déchet associé ou la quantité de déchets associés collectée en 2023
- La quantité de POP dans ce déchet

Pour cette partie spécifique sur l'inventaire des produits et futurs déchets contenant des POP, la collecte des données de quantités mises sur le marché est délimitée par une période temporelle spécifique de 2010 à 2023 pour la majorité des produits et déchets (selon la durée de vie des produits) ; cependant ce périmètre temporel peut être étendu au-delà de 2010 pour des produits avec une longue durée d'utilisation tels qu'un bâtiment par exemple.

3.1.1.2 Produits et déchets contenant des POP inclus dans le cadre de l'étude selon le secteur d'activité

Les POP sont présents dans de nombreux produits du quotidien et de l'industrie, en raison de leurs propriétés précieuses comme la durabilité ou la résistance au feu. Afin d'obtenir un axe de lecture selon les secteurs d'activité, les informations collectées sur les produits et les déchets pouvant contenir des POP ont été classifiées selon la nomenclature d'activités française offrant une structuration permettant une vision d'ensemble sur l'industrie française. Comme illustré dans le schéma ci-dessous, cette répartition permet d'identifier la présence possible ou non de POP dans un produit/déchet pour une gestion efficace des ressources et des déchets, contribuant à l'optimisation des stratégies de recyclage et de valorisation au sein des différents secteurs économiques.

Il vise à fournir une vue d'ensemble des composés potentiellement dangereux présents dans les flux de déchets actuels ou historiques, ainsi que des substances résiduelles qui peuvent encore poser un

¹²² Production, use, and fate of all plastics ever made. Sci. Adv.3, R. Geyer, J R. Jambeck, K. Lavender Law, 2017

problème malgré leur interdiction. Pour chaque secteur, la matrice identifie les substances clés qui présentent un risque, avec une classification visuelle basée sur trois niveaux :

- **Présence avérée** des substances dans les déchets actuels : des déchets contenant ces substances sont actuellement identifiés et traités comme déchets POP.
- **Présence possible** de ces substances : des documents ont pu évoquer leur présence dans certains produits ou une interrogation peut persister sur l'emploi de POP dans ces produits.
- **Substances interdites** mais susceptibles d'être retrouvées dans des déchets contaminés ou équipements anciens.

Si le schéma est aussi complet que possible, la variété des POP présents ne permet pas d'être exhaustifs pour la possibilité de présence sur chaque POP. Il souligne la complexité de la gestion des déchets et les défis posés par les substances chimiques persistantes et interdites qui continuent à circuler en raison d'une utilisation antérieure ou de matériaux contaminés. Il est ainsi possible de trouver plus de détails dans les parties ci-dessous.

Construction	Production et distribution d'électricité, de gaz	Transport et entreposage	Agriculture, sylviculture et pêche	Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution
<ul style="list-style-type: none"> ✗ Bitume et asphalte : HAP, PCB ? Peintures et revêtements : PCB, dioxine, PFOA, PFOS, PCCC ? Isolants : HBCD ✓ Gaine et tableau électrique : RFB 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Combustion incomplète : HAP ✗ Raffinage et utilisation de pétrole : HAP, PCB ? Pile et accumulateur : RFB, (PFOA, PFOS, Résidu et ancien) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Emission : HAP, PCB ✗ Huiles : HAP, PCB, PFOA, PFOS, PCCC ✗ Infrastructure routière : HAP, PFOA, PFOS ? Éléments de manutention électriques : PCB, HAP, RFB, PFOA, PFOS 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Pesticides : aldrines, chlordane, lindane, mirex, endosulfane, dicofol, DDT, chlordécone, dieldrine, endrine, heptachlore, toxaphène, pentachlorophénol ? Épandage de boues : HAP, PCB ? Contenant des pesticides : POP listé ci-dessus, dioxines et furanes, PFOA, PFOS 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Incinération : HAP, dioxines, furanes ✗ Traitement des eaux : PFOA, PFOS, RFB ? Fines et poussières : tous (dépend des déchets traités) ✗ Résidus de traitement de fumées : dioxines

Industrie manufacturière							
Industrie de la mécanique et métallurgie	Produits en caoutchouc et en plastique	Industrie chimique	Industrie du papier et du carton	Ameublement et travail du bois	Industrie automobile	Produits informatiques, électroniques et optiques	Industrie du textile
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Émission à la production de métaux : HAP ✗ Émis dans l'atmosphère lors de la production : Dioxines (pas dans le produit) ? Huiles et lubrifiants : HAP, PCB, PFOA, PFOS, PCCC 	<ul style="list-style-type: none"> ? Additifs de plastiques : RFB, UV 328, PCCC, Naphtalène ✗ Emballages plastiques : PCB, PFOA, PFOS, PCCC ? Émission à la production : HAP ✗ Encres et pigments organiques : PCB 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Production de produits chimiques : HAP, PFOA, PFOS ? Production de substances chimiques : PCB, PFOA, PFOS, RFB, HCB, pentachlorobenzène, HBCD, PFHxS, Naphtalène 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Encres et pigments organiques : PCB ✓ Encres à base de Pétrole : HAP ✓ Cartons et papiers : HAP et solvants ✓ Emballages : PFOA, PFOS 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Émission : HAP, PCB, dioxines et furanes ? Vernis et peintures : PFOA, PFOS, PCCC ✓ Huiles de goudron : HAP ? Meubles et rembourrages : PFOA, PFOS, RFB (peu fréquent) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Émission (hors phase de roulage) : HAP, PCB ✗ Huiles : HAP, PCB, PFOA, PFOS, PCCC ✓ Infrastructure routière : HAP, PFOA, PFOS ✗ Equipements électriques et électroniques : PCB, HAP, RFB, PFOA, PFOS ? Démantèlement : PCB, dioxines ✓ Pneumatiques : HAP, PCCC 	<ul style="list-style-type: none"> ? Émission : HAP, PCB ✗ Huiles : HAP, PCB, PCCC ? Equipements électriques et électroniques : PCB, HAP, RFB, PFOA, PFOS ? Démantèlement : PCB, dioxines, HAP, RFB, PFOA, PFOS 	<ul style="list-style-type: none"> ? Émission : dioxines et furanes ✗ Ignifugation : RFB, PCCC, PCCC, PBB, PCB, PCP ✓ Hydrofugie : PFOA, PFOS, PFHxS ✗ Pesticides : aldrine, dieldrine

- ✓ Présence certaine dans les déchets actuels
- ? Présence possible
- ✗ Interdit, mais potentiellement présent en traces via des matières recyclées ou dans de très vieux équipements antérieurs à l'interdiction

Figure 18 : Répartition des POP selon le secteur d'activité (RECORD, 2024)

La nomenclature d'activités française contient de nombreuses activités, afin de recentrer les informations sur les secteurs pouvant contenir des POP, seuls ceux dans lesquels ces substances ont été identifiés ont été retenus. Ci-dessous se trouve la liste des autres activités françaises non évoquées, dans lesquels les POP sont normalement identifiées comme absents :

- Industries extractives
- Dans l'industrie manufacturière : industries alimentaires, fabrication de boissons, fabrication de produits à base de tabac, cokéfaction et raffinage, industrie pharmaceutique, fabrication d'autres produits minéraux non métalliques
- Commerce ; réparation d'automobiles et motocycles
- Hébergement et restauration
- Information et communication
- Activités financières et d'assurance
- Activités immobilières
- Activités spécialisées, scientifiques et techniques
- Activités de services administratifs et de soutien
- Administration publique
- Enseignement
- Santé humaine et action sociale
- Arts, spectacles et activités récréatives
- Autres activités de services
- Activités des ménages en tant qu'employeurs ; activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens et services pour usage propre
- Activités extraterritoriales

3.1.1.3 Produits et déchets contenant des POP inclus dans le cadre de l'étude selon la catégorie de déchet

Ainsi ces substances POP se retrouvent dans divers secteurs de consommation tels que l'électronique, l'ameublement, les textiles, les véhicules, et même les produits agroalimentaires. Parmi ces déchets, il est possible d'identifier des grandes familles d'éléments contenant des POP :

- **Textiles et éléments d'ameublements** : les meubles qui contiennent un rembourrage en mousse peuvent contenir des POP tels que les PBDE, qui sont utilisés comme retardateurs de flamme.
- **Produits et Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment** : certains mastics et peintures utilisés dans la construction peuvent contenir des PCB, en particulier dans les bâtiments anciens. En outre, d'autres éléments du bâtiment comme les parties liées à l'électronique peuvent contenir des POP.
- **Déchets industriels** : divers procédés industriels produisent des déchets qui contiennent des sous-produits POP non intentionnels, tels que des HAP, des dioxines et des furanes. Il s'agit notamment des déchets issus de procédés thermiques tels que la récupération des métaux ou l'incinération.
- **Enrobés routiers** : certains enrobés routier peuvent contenir des goudrons avec des HAP.
- **Plastiques** : les plastiques peuvent contenir des POP tels que les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC), les PBDE, les PCB, les PCN, les PFOS ou les PFOA et des substances chimiques apparentées, ainsi que d'autres substances chimiques potentiellement dangereuses.
 - **Équipements électriques et électroniques (EEE)** : les EEE contiennent souvent des POP en raison de l'utilisation de retardateurs de flamme et d'autres substances chimiques liées aux POP dans les appareils électroniques. Il s'agit notamment d'ordinateurs, de smartphones, de téléviseurs et d'autres appareils électroniques.

- **Véhicules hors d'usage** : au sein de cet élément complexe qu'est un véhicule, les POP sont présents dans les sièges, la plage arrière, les rembourrages, le pare-brise, l'électronique de bord, etc.

La présence généralisée de POP dans une multitude de produits, à l'image de la liste dressée par le Tableau 10, entraîne inévitablement leur accumulation dans le flux de déchets, posant des défis significatifs en termes de gestion et de traitement des déchets pour minimiser les impacts environnementaux et sanitaires.

Tableau 10 : Principaux déchets contenant des POP par catégorie de déchets (RECORD, 2024)

Catégories de déchets	Déchets	Principales familles de POP concernées
Produits informatiques, électroniques et optiques – DEEE	Équipement d'échange thermique	Pas de POP identifiés
	Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm ²	PBDE, HBCD, PBB
	Lampes	PBDE
	Gros équipements	Pas de POP identifiés
	Petits équipements	PBDE, HBCD
	Petits équipements informatiques et de télécommunications	PBDE, HBCD
	Panneaux photovoltaïques	Pas de POP identifiés
Industrie automobile – Véhicules hors d'usage (VHU)	Véhicules particuliers, véhicules utilitaires, cyclomoteurs à 3 roues	PBDE, HBCD PFOA dans les textiles
	Pneumatiques	HAP, PCCC
Éléments d'ameublement et travail du bois	Mobilier de salon, séjour, salle à manger	Non connu
	Mobilier d'appoint	Non connu
	Mobilier de chambre	Non connu
	Literie (dont matelas)	Non connu
	Mobilier de bureau	Non connu
	Mobilier de cuisine	Non connu
	Mobilier de salle de bain	non connu
	Mobilier de jardin	Non connu
	Sièges	PBDE, HBCD, PFOS, PFOA
	Mobilier technique, commercial, collectivités	Non connu
	Rembourrés d'assise et de couchage (depuis 2018)	PBDE, HBCD, PFOS, PFOA
Décoration textile (depuis 2023)	Pas de POP identifiés	

Industries textiles	Chaussures	PFOA, PFOS, (PBDE)
	Linge de maison et de décoration	
	Vêtements	
Construction	Matériaux et produits inertes	Pas de POP identifiés
	Autres matériaux et produits du bâtiment	HBCD, PCB, PBDE, PFOS, PFOA Plus rarement : g Dioxines et furanes et HCB
Huiles usagées		PCB, HAP
Piles et accumulateurs		(PCB, PFOA, PFOS, HAP)
Emballages		HBCD, PFOA, PFOS
Mégots		HAPo
Jeux et produits pour enfants en fin de vie	Jeux en bois	(PBDE)
	Jeux en plastique	PBDE, HBCD, PCCC
	Jeux électroniques	PBDE, HBCD, PCCC

À noter : les POP peuvent aussi être retrouvés dans d'autres produits que la liste identifiée ci-dessus. Des investigations sont notamment menées concernant les poêles en Téflon par exemple¹²³, où des POP ont pu être retrouvés par les PFAS présents (PFBS et PFHxA).

A noter également : avec le développement du recyclage et en particulier dans des pays où la maturité sur ces sujets est faible, les risques de dissémination de POP dans d'autres filières sont importants. Le meilleur exemple est celui de jouets importés contenant des RFB suite à l'usage de plastiques recyclés¹²⁴. Il est aussi possible de parler des ustensiles de cuisine ou des produits pour les cheveux. Si ces produits ont déjà été identifiés comme contenant des POP présents dans les matières premières recyclés, il n'est pas impossible d'imaginer que d'autres produits, par exemple des articles de sports et de loisir, de jardin ou de jouets pour animaux, puissent en contenir eux aussi lorsqu'ils sont fabriqués à l'étranger et importés.

3.1.1.4 Produits et déchets contenant des POP inclus dans le cadre de l'étude selon le matériau

Afin d'obtenir un spectre de la répartition des POP dans les produits ou déchet pouvant convenir à l'ensemble des acteurs en contact avec ces substances, il est intéressant de se concentrer sur les POP contenus dans les matériaux et d'offrir une vision générique compatible avec les données disponibles. Cette approche permet de répertorier, pour chaque matériau, la présence de POP lorsqu'elle est identifiée et évaluée. Ainsi, à partir d'un matériau spécifique contenu dans un déchet, il sera possible de supposer et d'identifier les autres produits ou déchets de la même famille susceptibles de contenir des POP. Les matériaux organiques retenus et leurs polluants associés sont les suivants :

¹²³ [Poêles en téflon antiadhésives mais avec pfas](#), UFC Que Choisir, 2024

¹²⁴ [Toxic Loophole. Recycling Hazardous Waste into New Products](#). Arnika Association, 2018

Tableau 11 : Répartition des POP selon les matériaux organiques (NB : en l'état actuel des connaissances) (RECORD, 2024)

Matériaux organiques	POP présents
Bois	Émission de HAP, PCB, dioxines et furanes lors de la combustion
Papier-carton	HAP, PFOA, PFOS
Plastiques	RFB, HBCD, UV 328 (2-(3',5'-Di-tert-amyl-2'-hydroxy phényl)benzotriazole), PCCC
Caoutchouc	RFB, HBCD, UV 328, HAP
Huiles	PCCC, PFOA, PFOS, PCB, HAP
Enrobés bitumineux	HAP
Textiles	PFOA, PFOS, PFHxS (RFB, PCCC, PBB, PCB, PCP, aldrine, dieldrine)
Produits chimiques	Divers selon la composition spécifique
Pesticides	Aldrines, chlordane, lindane, mirex, endosulfan, dicofol, DDT, chlordécone, dieldrine, endrine, heptachlore, toxaphène, pentachlorophénol, dioxines et furanes

Cette classification méthodique permet de mieux comprendre la répartition des POP dans différents matériaux, facilitant ainsi la mise en place de stratégies de gestion et de réduction des risques environnementaux et est donc reprise dans la suite du rapport pour présenter les taux et concentrations de POP relevé dans certains produits ou déchets.

3.1.2 Présence et teneur des POP dans les déchets

Dans cette partie, l'étude s'est concentrée sur l'identification et la quantification de divers POP dans des échantillons de déchets issus de diverses sources tels que reportés par de la littérature scientifique et grise. Bien qu'effectuées sur des échantillons de déchets non forcément représentatifs de la situation réelle en France, ces analyses isolées nous permettent non seulement de mieux comprendre la répartition et la concentration de ces substances toxiques dans certaines catégories de déchets, mais aussi d'évaluer l'efficacité des pratiques actuelles de gestion des déchets. Les données présentées sont issues d'études scientifiques publiées et publiques, dont les résultats servent de base d'extrapolation pour l'estimation des gisements français.

3.1.2.1 Focus sur le papier-carton et les déchets produits à partir de papier-carton pouvant contenir des POP

En voulant étudier les risques pour la santé humaine associés à la migration du PFOA et du PFOS depuis le papier et le carton en contact avec les aliments, l'étude de You et al.¹²⁵ a pu mettre en avant la présence de ces POP dans les emballages papiers. Les concentrations de PFOS donnent une médiane inférieure à 0,15 ng/cm², avec un maximum de 0,61 ng/cm² dans les boîtes en carton. Celles de PFOA révèlent une médiane inférieure à 0,15 ng/cm², avec un maximum de 1,76 ng/cm² dans les sacs à pop-corn.

Une autre étude de Rigby et al.¹²⁶ permet de mettre en avant la présence de PCDD/F, PXDD/F, PCB, PBB, PXB (biphényles polyhalogénés) et PCN (Naphthalènes polychlorés) dans des cartons. Les

¹²⁵ Health Risk Exposure Assessment of Migration of Perfluorooctane Sulfonate and Perfluorooctanoic Acid from Paper and Cardboard in Contact with Food under Temperature Variations, S. You, C. Yu, 2023

¹²⁶ Concentrations of organic contaminants in industrial and municipal bioresources recycled in agriculture in the UK, H. Rigby, A. Dowding, A. Fernandes, D. Humphries, N. R. Jones, I. Lake, R. G. Petch, C. K. Reynolds, M. Rose, S. R. Smith, 2021

éléments analysés durant l'étude étaient des pièces en carton recyclé et des boues de papier séchées, ou des boues de papier séchées au four provenant du traitement du papier recyclé.

Tableau 12 : Équivalences toxiques (TEQ) et TEQ estimés pour les dioxines/furanes, les biphényles de type dioxine et les PCN dans les bioressources (cartons et boues de papier séchées) municipales et industrielles (pour chaque groupe de composés, la proportion (%) du TEQ global estimé est indiquée entre parenthèses) (Rigby, H., 2021¹²⁷)

ng TEQ kg ⁻¹ DS (DS = dry substance)	PCD D/F	PBD D/F	PXD D/F	Non-ortho -PCB	Ortho -PCB	Non-ortho -PBB	PXB	PCN	ΣPCD D/Fs and dioxin-like PCB	ΣPBD D/F and dioxin-like PBB	Σ TEQ
Cartons	8.1 (79.0)	1.5 (14.3)	0.06 (0.6)	0.45 (4.5)	0.07 (0.7)	0.003 (0.03)	0.02 (0.7)	0.10 (1.0)	8.6 (84.1)	1.5 (14.3)	10.2
Boues de papier séchées 1	6.1 (56.2)	2.5 (22.8)	0.11 (1.0)	1.9 (17.0)	0.12 (1.1)	0.02 (0.2)	0.06 (0.6)	0.12 (1.1)	8.1 (74.3)	2.5 (23.0)	10.9
Boues de papier séchées 2	7.7 (68.0)	1.7 (14.8)	0.10 (0.9)	1.5 (13.4)	0.13 (1.1)	0.02 (0.2)	0.06 (0.5)	0.14 (1.2)	9.4 (82.5)	1.7 (14.9)	11.4
Boues de papier séchées 3	7.4 (68.7)	1.6 (14.7)	0.04 (0.3)	1.4 (12.8)	0.22 (2.0)	0.002 (0.02)	Non mesuré	0.16 (1.5)	8.9 (83.5)	1.6 (14.7)	10.7

Ces résultats indiquent que les cartons et les boues de papier séchées sont faiblement importants en tant que sources de PCDD/F. La présence de traces détectables de PCN dans le carton peut refléter l'utilisation historique des PCN comme agent de conservation du carton (Fernandes et al., 2017) ou dans les adhésifs (Yamashita et al., 2003).

En outre, dans cette étude, du PBDE a été identifié dans ces déchets. Le profil des PBDE du carton avait une limite supérieure de ΣPBDE (à l'exclusion du décaBDE) équivalente à 4,9 µg kg⁻¹ DS (dry substance), et une concentration indicative de décaBDE de 225 µg kg⁻¹ DS. La limite supérieure des ΣPBDE (à l'exclusion du décaBDE) pour les boues de papiers séchées était comprise entre 2,8 et 3,6 µg kg⁻¹ DS et la concentration de décaBDE était de 152-429 µg kg⁻¹ DS dans ces boues. Ces concentrations sont loin des seuils imposés pour la somme des PBDE qui est de 500 mg/kg.

Les α-, β- et γ- HBCD ont été détectés dans le carton à des concentrations de 12,1, 4,0 et 27,8 µg kg⁻¹ DS, respectivement. Cependant, le PBCD était inférieur à la limite de quantification (le TBBPA n'a pas été mesuré dans le carton). Les HBCD, le TBBPA et le PBCD ont également été mesurés dans les échantillons de boues de papiers séchées en quantités relativement importantes. Le TBBPA a été trouvé dans les plus grandes concentrations par rapport aux autres composés de ce groupe, équivalant à 59,4 et 73,4 µg kg⁻¹ DS dans les échantillons 1 et 2, respectivement (non mesuré dans l'échantillon 3). Ces concentrations reflètent probablement l'utilisation du TBBPA comme retardateur de flamme pour le traitement du papier.

Le test des PFAS a indiqué qu'un certain nombre de composés étaient présents dans le carton, notamment : PFOA, PFNA, PFDA et PFDoDA, et PFUnDA, PFOS (également PFOSA, mais en quantité fortement limitée). Dans l'échantillon de boues 3, le PFUnDA était équivalent à 14 µg kg⁻¹. Certains PFAS sont utilisés dans les emballages en papier, ce qui peut expliquer leur présence dans les boues de papiers séchées issues du recyclage du papier. Le tableau ci-dessous, indique les concentrations des certains PFAS retrouvées dans le carton ou les boues de papiers, à noter que les substances en bleu sont d

¹²⁷ Concentrations of organic contaminants in industrial and municipal bioresources recycled in agriculture in the UK, H. Rigby, A. Dowding, A. Fernandes, D. Humphries, N. R. Jones, I. Lake, R. G. Petch, C. K. Reynolds, M. Rose, S. R. Smith, 2021

Tableau 13 : Concentrations de substances perfluoroalkyles (PFAS) dans les bioressources industrielles et municipales - Résultats de l'analyse GC-ToF-MS (Rigby, H., 2021¹²⁸) Légende : les substances en bleu correspondent aux substances classées POP

Substance µg kg ⁻¹ DS (DS = Dry substance)	Carton	Boues de papiers séchées 1	Boues de papiers séchées 2	Boues de papiers séchées 3
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	9	a	a	5
Perfluorononanoic acid (PFNA)	3	a	a	7
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	3	a	a	16
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	3	a	a	14
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	3	a	a	10
Perfluorobutane sulfonate (PFBS)	<1	a	a	5
Perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)	<1	a	a	<1
Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	2	a	a	4
Perfluorooctane sulfonamide (PFOSA)	<1	a	a	<1

Finalement, une dernière étude de Miralles et al.¹²⁹ s'est penchée sur l'identification des PFAS dans les matériaux en contact avec les aliments à base de papier et de carton à l'aide d'une méthode basée sur une lixiviation assistée par ultrason suivie d'une chromatographie liquide à ultra-haute performance couplée à une spectrométrie de masse à haute résolution (UHPLC-Q-Orbitrap HRMS). 16 échantillons de terrain de ces matériaux à base de papier et de carton, notamment des boîtes à pizza, des boîtes à pop-corn, des sacs en papier et des boîtes en carton pour les pommes de terre frites, des bacs à glace, des plateaux à pâtisserie et des emballages en carton pour les omelettes espagnoles cuites, les raisins frais, le poisson congelé et les salades ont été analysés. Les résultats obtenus montrent la conformité de ces éléments aux réglementations européennes en vigueur concernant les PFAS étudiés, dont ceux classés POP.

3.1.2.2 Focus sur les plastiques et les déchets produits à partir de plastiques pouvant contenir des POP

Les plastiques et les déchets produits à partir de plastiques, tels que les DEEE, les VHU, les éléments de construction, les piles et accumulateurs, les emballages et les jouets, sont souvent contaminés par

¹²⁸ Concentrations of organic contaminants in industrial and municipal bioresources recycled in agriculture in the UK, H. Rigby, A. Dowding, A. Fernandes, D. Humphries, N. R. Jones, I. Lake, R. G. Petch, C. K. Reynolds, M. Rose, S. R. Smith, 2021

¹²⁹ Determination of 21 per- and poly-fluoroalkyl substances in paper- and cardboard-based food contact materials by ultra-high-performance liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry, P. Miralles, M. I. Beser, Y. Sanchís, V. Yusà, C. Coscollà, 2023

des POP. Les taux de POP présents dans ces produits varient selon l'origine du déchet et les effets attendus des additifs inclus dans le plastique.

Les données présentées dans cette partie sont presque exclusivement issues de la littérature scientifique. Il est nécessaire de manipuler ces données avec une attention particulière en considérant les enjeux de représentativité associés (périmètre géographique et temporel, échantillonnage, etc.).

En outre, selon les publications, les différentes sommes des PBDE traitées dans cette partie n'ont pas la même définition selon l'étude évoquée (tous, ou seulement certains).

Les plastiques au sein des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE)

Dans un premier temps, le rapport va se concentrer sur les POP identifiés dans les plastiques de DEEE afin de caractériser ceux présents et de faire ressortir les teneurs en POP dans cette catégorie de déchets. Les retardateurs de flammes bromés seront en particulier traités. À noter que ces études ne présentent pas de données spécifiques relatives à la quantité de retardateurs de flamme présente dans les cartes électroniques de DEEE.

Résultats des quatre études pertinentes identifiées

Une étude réalisée par l'INERIS (résultats de campagnes d'analyse des compositions des DEEE réalisées par l'OCAD3E en 2014-2015) fournit des résultats sur les teneurs en retardateurs de flammes bromés des plastiques de DEEE. Les teneurs en brome, permettant une approximation des teneurs globales en retardateurs de flammes bromés, sont également présentées. Il faut toutefois tenir compte du fait que tous les composés bromés ne sont pas des POP. Dans cette campagne de caractérisation, un tri automatique par XRF ou tri optique est d'abord effectué après broyage de DEEE en fonction de la teneur totale en brome (< ou > 2000 ppm). Les fractions issues de ces deux flux sont ensuite analysées. Cette campagne a eu lieu dans quatre sites de traitement de DEEE, et un tri secondaire par différence de densité est ajouté pour un des sites étudiés. Trois types de DEEE sont étudiés : les PAM (Petits Appareils en mélange), les écrans à tubes cathodiques (CRT) et les écrans plats. Les analyses sont réalisées sur 33 échantillons en 2014 et 32 en 2015 (tous en triplicats). Les résultats sont présentés dans le Tableau 14 (échantillonnage en 2014) et le Tableau 15 (échantillonnage en 2015).

En 2014, la **teneur en brome** en entrée des **trois catégories de DEEE** analysés avant tri excédait le seuil de 2000 ppm¹³⁰ (2 à 7 fois plus selon catégorie). Les teneurs sont les suivantes : 3500 ppm (PAM), 11400 ppm (écrans CRT) et 13150 ppm (écrans plats).

Concernant **les teneurs en PBB**, aucune teneur ne dépassait le seuil réglementaire de 1000 ppm en 2014. Les valeurs pour les trois types de DEEE tournent autour de 10-30 ppm (tous PBB compris) avant tri.

Enfin, **les teneurs en PBDE (tous PBDE compris)** étaient quant à elles supérieures au seuil réglementaire de 1000 ppm pour les **écrans CRT et les écrans plats** (respectivement 1400 ppm et 4600 ppm). La **teneur en décaBDE** dans les **PAM** est quant à elle 2 fois plus faible que le seuil. Les sommes de **tétra-, penta-, hexa- et heptaBDE** sont nettement inférieures au seuil réglementaire pour les trois types de DEEE.

Le tri automatique est ensuite réalisé pour tous les produits, indifféremment de leur potentiel à contenir des concentrations élevées de POP. Ainsi, même des déchets tels que des PAM (contenant une faible teneur en POP, et donc non POP), sont analysés, et les broyats de plastiques dépassant le seuil de 2000 ppm sont écartés. C'est seulement après tri que l'on distingue deux flux de plastique : celui destiné au recyclage, et celui identifié comme POP. Sur les flux destinés au recyclage, on peut parfois identifier des non-conformités, a priori dû à un effet pépète : il suffit d'une particule ignifugée envoyée par erreur dans de flux pour faire monter en flèche le taux de brome, au-delà du seuil. En effet, ces particules ont une haute teneur en brome, en général de l'ordre de 100 000ppm.

Les teneurs en HBCD n'ont pas été analysées en 2014.

La campagne menée en 2015 montre globalement les mêmes ordres de grandeurs pour les teneurs, sauf pour **la somme des PBDE** des écrans avant tri (4430 ppm pour les écrans CRT en 2015 versus 1400 ppm en 2014, soit une teneur multipliée par 3, et 1220 ppm pour les écrans plats versus 4600 ppm en 2015 soit une teneur divisée par 3). De plus, **les teneurs en HBCD** sont également disponibles. Ces teneurs n'excèdent pas le seuil réglementaire avant tri : 150 ppm (PAM), 550 ppm (écrans CRT) et 15 ppm (écrans plats). Après tri, les teneurs sont plus faibles, quelle que soit la fraction considérée (à

¹³⁰ Seuil fixé par la norme technique TS 50625-3-1 [12] à partir duquel le plastique n'est plus considéré recyclable.

l'exception de la fraction bromée des PAM où la concentration a doublé), ce qui met en avant que le tri opéré sur la teneur en brome n'isole pas ces autres substances.

Dans l'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016), illustrée avec le Tableau 30, les DEEE peuvent également contenir des PFAA, et donc du PFOS, néanmoins en quantité relativement faible.

Tableau 14 : Concentrations moyennes avant tri et après tri (pour les deux flux triés) en Br, PBB et PBDE (en ppm) dans les plastiques de DEEE échantillonnés en 2014 de 4 sites et classements pour la dangerosité des déchets, la réglementation des substances POP et la gestion selon la teneur en brome et en décaBDE (compilation RECORD, 2024) (INERIS, 2017¹³¹)

DEEE 2014	LC (mg/kg)*	Entrées avant tri			Résultat issu du tri : flux n°1 Br < 2000 mg/kg			Résultats issus du tri : flux n°2 Br > 2000 mg/kg		
		PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats
Propriété/Catégorie										
Paramètre (mg/kg)										
Br	2000 ¹³²	3495	11389	13143	939	3458	1827	23854	36092	52720
HexaBB	50							7		
HeptaBB										
OctaBB										
NonaBB		2	4	2	2	3	2	2	3	2
DecaBB		10	29	10	10	10	10	12	18	10
Somme des PBBs	1000	10	31	10	10	11	10	12	20	10
TétraBDE		2							4	
PentaBDE		3						2	10	
HexaBDE	3000	4	18	2	2	3		127	294	5
HeptaBDE	3000	20	121	8	5	11		681	1702	28
OctaBDE	3000	23	102	10	4	12		682	1722	42
DecaBDE	1000	463	1098	4290	27	275	143	3620	8654	4625
Somme des PBDE	1000	540	1417	4585	37	312	149	5499	13441	5055
HBCD	1000	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Somme des substances POP tétra-, penta-, hexa- et heptaBDE **	1000	28	139	12	9	14	4	810	2009	33

Les valeurs colorées en rouges signifient un dépassement de la limite de concentration.

* A noter que les seuils indiqués dans l'étude et donc le tableau ne sont pas forcément des seuils issus du règlement POP.

** Cette étude a été réalisée avant le classement POP du décaBDE, ce qui explique son absence dans le calcul de la somme des PBDE.

¹³¹ Tri et classement des plastiques des déchets d'équipements électriques et électroniques, INERIS, 2017

¹³² Seuil fixé par la c TS 50625-3-1 [12] à partir duquel le plastique n'est plus considéré recyclable.

Tableau 15 : Concentrations moyennes avant tri et après tri (pour les deux flux triés) en Br, PBB et PBDE (en ppm) dans les plastiques de DEEE échantillonnés en 2015 de 4 sites et classements pour la dangerosité des déchets, la réglementation des substances POP et la gestion selon la teneur en brome et en décaBDE (compilation RECORD, 2024) (INERIS, 2017¹³³)

DEEE 2015	LC (mg/kg)	Entrées avant tri			Résultats issus du tri : flux n°1 Br < 2000 mg/kg			Résultats issus du tri : flux n°2 Br > 2000 mg/kg		
		PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats
Propriété/Catégorie	LC (mg/kg)	PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats	PAM	CRT	Ecrans plats
Paramètre (mg/kg)										
Br	2000	3510	9398	6885	852	2884	4005	16685	35084	39020
HexaBB	50									
HeptaBB										
OctaBB									33	
NonaBB		2	4	2	2	3	2	6	83	2
DecaBB		10	35	10	10	22	10	36	93	10
Somme des PBBs	1000	10	37	10	10	24	10	39	208	10
TétraBDE		7						4	6	
PentaBDE		8						7	16	
HexaBDE	3000	8	66	2	5	15		103	266	11
HeptaBDE	3000	35	388	6	19	96	3	433	1540	46
OctaBDE	3000	34	453	7	16	82	2	332	1262	62
DecaBDE	1000	293	2768	1125	111	726	730	2046	7494	7020
Somme des PBDE	1000	420	4428	1219	162	1020	768	3309	12290	8035
HBCD	1000	157	552	15	51	281	15	316	17	15
Somme des substances POP tétra-, penta-, hexa- et heptaBDE **	1000	58	456	10	25	113	6	547	1829	59

** Cette étude a été réalisée avant le classement POP du décabde, ce qui explique son absence dans le calcul de la somme des PBDE.

¹³³Tri et classement des plastiques des déchets d'équipements électriques et électroniques, INERIS, 2017

À l'échelle européenne l'étude *Brominated Flame Retardants and the Circular Economy of WEEE Plastics*, BSEF (2023) fournit des résultats sur la teneur en retardateurs de flamme avant tri des DEEE. Les compositions des catégories suivantes de DEEE sont étudiées : équipement d'échange thermique, gros équipement, petit équipement (TIC inclus) et écrans. La revue fournit une synthèse de plusieurs publications scientifiques publiées de 2010 à 2023. Les données sont présentées dans le Tableau 16.

Pour les petits équipements incluant les TIC, les teneurs moyennes en brome dans les plastiques sont aux alentours de 4 000 - 4 500 ppm entre 2010 et 2022. La concentration obtenue en 2010 (5600 ppm) est considérée la plus robuste car l'analyse a été réalisée sur 17 échantillons, tandis que les autres analyses n'ont été réalisées que sur 5 échantillons ou moins. Les **teneurs en brome dans les écrans CRT** sont les plus élevées : entre 7 500 ppm et 23 500 ppm entre 2010 et 2020 (cette dernière valeur étant considérée comme la plus robuste car 14 échantillons étudiés). Mais les teneurs dans les **écrans plats** sont aussi relativement élevées : entre 5 100 ppm et 13 100 ppm (la valeur la plus robuste étant 7 500 ppm car 9 échantillons étudiés). Concernant les teneurs dans les **gros équipements**, elles tournent autour de 1 300 ppm pour 2010 et 2017. Enfin, les valeurs pour les **équipements d'échange thermiques** sont relativement faibles (environ 300 ppm pour 2010 et 2017). Pour les deux dernières catégories, le seuil réglementaire n'est pas excédé. De plus, les valeurs semblent relativement robustes car 27 échantillons ont été étudiés au total.

Les teneurs en PBDE (tous PBDE compris) sont en dessous du seuil réglementaire pour les **petits équipements** (400 ppm en moyenne). Mais les teneurs pour les **écrans** le dépassent : 3 500 ppm (CRT) et 1 700 ppm (écrans plats) en moyenne. La concentration moyenne pour les **équipements d'échange thermique** est de 100 ppm. Pour les **gros équipements**, elle est de 300 ppm.

Les teneurs en HBCD ne sont significatives que pour les **petits équipements** (environ 155 ppm pour 2015, 2020 et 2021, sur 7 échantillons au total) mais restent faibles.

Enfin, les **teneurs en PBBs** sont presque toutes en dessous du seuil de détection.

Selon une analyse des auteurs, la quantité de retardateurs de flamme présents dans le plastique des écrans a diminué depuis 2010 alors que celle présente dans les gros et petits équipements reste relativement stable. Cela pourrait être associé à un changement dans la composition des EEE et à leur âge, ou encore à une augmentation de l'utilisation des retardateurs de flammes minéraux. L'utilisation du dioxyde d'antimoine comme synergiste permet notamment d'abaisser la quantité de retardateurs de flamme introduite tout en augmentant son efficacité. L'échantillonnage reste néanmoins trop faible pour considérer cette tendance historique comme robuste.

Tableau 16 : Concentrations moyennes et maximum avant tri en Br, PBB, HCBd et PBDE (en ppm) dans les plastiques de DEEE (LD=limite de détection). (compilation RECORD, 2024) (BSEF, 2023¹³⁴)

Catégorie	Année d'échantillonnage	Nombre d'échantillon	Br total		PBBs		HCBd		Somme des PBDE		Source
			moyenne	max	moyenne	max	moyenne	max	moyenne	max	
Équipement d'échange thermique	2010	12	245	580	<LD	<LD	<LD	<LD	92	500	Wäger et al. 2011
Équipement d'échange thermique	2017	15	353	810	<LD	<LD	<LD	<LD	103	382	Bill et al. 2022
Gros équipement	2010	6	1 083	2 100	<LD	<LD	<LD	<LD	450	1 600	Wäger et al. 2011
Gros équipement	2017	21	1 541	4 283	<LD	<LD	8	63	201	474	Bill et al. 2022
Petits équipements (incluant TIC)	2010	17	5 594	15 000	<LD	<LD	<LD	<LD	812	2 100	Wäger et al. 2011
Petits équipements (incluant TIC)	2014	5	3 564	4 373	<LD	<LD	<LD	<LD	525	737	Hennebert et al. 2018, European PRO
Petits équipements (incluant TIC)	2015	5	3 510	5 670	<LD	<LD	155	468	402	562	Hennebert et al. 2018, European PRO
Petits équipements (incluant TIC)	2020	1	2 020	2 020	<LD	<LD	157	157	71	71	European PRO
Petits équipements (incluant TIC)	2021	1	7 317	7 317	<LD	<LD	152	468	330	330	European PRO
Petits équipements (incluant TIC)	2022	4	4 238	6 573	<LD	<LD	<LD	<LD	314	644	European PRO
Écrans (CRT)	2010	14	23 571	55 000	<LD	<LD	<LD	<LD	5 186	18 400	Wäger et al. 2011
Écrans (CRT)	2011	6	19 167	28 000	<LD	<LD	<LD	<LD	3 574	5 120	Taverna et al. 2017
Écrans (CRT)	2014	5	11 727	17 968	28	96	/	/	1 663	3 936	Hennebert et al. 2018, European PRO
Écrans (CRT)	2015	3	9 380	11 545	46	92	490	745	3 590	4 453	Hennebert et al. 2018, European PRO
Écrans (CRT)	2020	1	7 568	7 568	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	European PRO
Écrans (plats)	2010	6	8 950	17 000	<LD	<LD	<LD	<LD	98	490	Wäger et al. 2011
Écrans (plats)	2011	9	7 522	12 000	<LD	<LD	<LD	<LD	1 183	3 913	Taverna et al. 2017
Écrans (plats)	2014	1	13 143	13 143	<LD	<LD	15	15	4 310	4 310	Hennebert et al. 2018,
Écrans (plats)	2015	3	6 885	8 060	<LD	<LD	8	15	1 179	1 841	Hennebert et al. 2018, European PRO
Écrans (plats)	2020	1	5 157	5 157	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	European PRO
Écrans (CRT & plats)	2022	1	13 307	13 307	/	/	97	97	2 237	2 237	European PRO
Écrans (CRT & plats)	2023	1	5 360	5 360	<LD	<LD	<LD	<LD	983	983	European PRO

¹³⁴ Brominated Flame Retardants and the Circular Economy of WEEE Plastics – State of Play, BSEF, 2023

Un troisième rapport recensant des données à l'échelle européenne a été identifié : *Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation*, Commission Européenne, 2021. Les données sont également obtenues à partir de plusieurs articles scientifiques (review). Les valeurs moyennes, médianes, minimum et maximum sont obtenues à partir de valeurs hétérogènes qui sont des concentrations uniques ou des plages de concentrations. Les concentrations en POP sont listées pour l'ensemble des DEEE, sans distinction de catégorie. Les dates de publications des articles ne sont pas précisées. Ces données sont présentées dans le Tableau 17.

Les teneurs moyennes en PBDE, décaBDE et HBCD des DEEE étudiés sont respectivement de l'ordre de 2 700 ppm, 5 200 ppm et 150 ppm, le seuil réglementaire étant dépassé pour les deux premières valeurs. Les valeurs médianes sont largement inférieures aux valeurs moyennes pour le PBDE ainsi que le décaBDE, ce qui démontre l'influence des fortes concentrations sur la concentration moyenne.

Tableau 17 : Synthèse des concentrations médianes, moyennes et maximum avant tri en PBDE, décaBDE et HBCD dans les plastiques de DEEE issues de la littérature. (compilation RECORD, 2024) (CE, 2021¹³⁵)

Catégorie	POP	Concentration (ppm)		
		médiane	moyenne	max
DEEE	PBDE	7	2663	154 000
	DecaBDE	50	5216	150 000
	HBCD	200	137	1 600

Les valeurs colorées en rouges signifient un dépassement de la limite de concentration.

Analyse de cohérence des études et synthèse

Les études de l'INERIS, de BSEF et de la CE sont cohérentes entre elles.

En zoomant par catégorie d'équipement, on voit que les résultats des études INERIS pour les PAM et de BSEF pour les petits équipements (incluant TIC) sont dans des gammes de valeurs comparables. Les deux études distinguent les flux d'écrans CRT et ceux d'écrans plats, et pour ces deux flux les teneurs en brome et en HBCD sont également similaires. Par ailleurs, les concentrations en cumulé des PBB sont faibles pour tous les flux. Enfin, les concentrations en PBDE issues des deux études sont semblables si l'échantillonnage de 2015 de l'étude de l'INERIS est utilisé.

Les résultats issus de l'étude de la CE comprennent la totalité des DEEE. Cependant, en comparant les études avec une valeur moyenne pour toutes les catégories de DEEE, les concentrations sont bien cohérentes entre elles.

Les petits appareils en mélange (PAM) et les écrans (CRT et plats) sont les équipements les plus susceptibles d'être contaminés par des POP. Les POP contenus au-delà des limites réglementaires sont des PBDE, et en particulier, le déca-BDE. La mesure en Br total montre que le seuil de la norme de recyclage du plastique est également dépassée pour ces équipements. À noter néanmoins que les teneurs en PBDE varient fortement selon les équipements et les années d'échantillonnage, avec des niveaux élevés observés dans les écrans.

Les plastiques dans les Véhicules Hors d'Usage (VHU)

Résultats des deux études pertinentes identifiées

Une revue bibliographique sur les concentrations et substances réglementées dans les plastiques des VHU publiée en 2018 par l'INERIS fournit des concentrations en POP dans ce type de déchets. Ces données ont été collectées à partir de 15 sources différentes et sont souvent hétérogènes, avec un niveau de précision différent : les valeurs reportées sont des moyennes non pondérées sur des

¹³⁵ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

concentrations uniques et des données moyennes de plage de concentrations. Le Tableau 18 regroupe les données collectées.

Pour l'ensemble des éléments présents dans un VHU contenant des POP (plastiques et textiles), les **concentrations maximale, moyenne et médiane** du **décaBDE** sont respectivement d'environ 27 000 ppm, 3 500 ppm et 50 ppm. Si l'on regarde au niveau des pièces détachées, ce sont les couvertures de sièges qui sont les pièces présentant les plus fortes teneurs en décaBDE (environ 25 000 ppm), ce qui est détaillé dans la partie textile. La **teneur moyenne en PBDE** de 40 ppm est quant à elle très faible et largement sous le seuil réglementaire.

Dans le Règlement POP, une dérogation est inscrite pour les véhicules concernant le décaBDE : son utilisation était autorisée dans les véhicules fabriqués avant le 15 juillet 2019. Depuis cette date, le recours à ce POP dans les étapes de fabrication est interdit.

La teneur moyenne en HBCD est de 430 ppm sur l'ensemble d'un VHU. Cette fraction est en-dessous de la valeur réglementaire. La valeur médiane n'est pas indiquée. Si l'on regarde au niveau de l'un des composants, la teneur peut monter jusqu'à 4 000 ppm dans l'isolant phonique.

À noter que dans certaines études, seules les fractions broyées les plus concentrées en brome sont délibérément analysées. Ces résultats sont donc surestimés et ne peuvent pas être utilisés pour établir des taux de concentration moyenne sur un VHU.

Comme vu précédemment dans l'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016), en Tableau 30, les DEEE peuvent également contenir des PFAA, et donc du PFOS, néanmoins en quantité relativement faible. Il n'est pas précisé si le matériau concerné est le plastique, ou bien le textile et le rembourrage des sièges.

Tableau 18 : Concentrations moyennes avant tri en PBDE et HBCD (en ppm) dans les pièces automobiles de VHU. (compilation RECORD, 2024) (INERIS, 2018¹³⁶)

Concentration (mg/kg) – moyenne	PBDE								RFB
Catégorie	DecaBDE	C-OctaBDEs	C-PentaBDEs	OctaBDEs	PBDEs	BDE-99	POP-BDEs	PentaBDEs	HBCD
Voiture									
1990-1994 - Circuits imprimés	200			20		10			10
1995-1999 #1 - Circuits imprimés	10			1		1			10
1995-1999 #2 - Circuits imprimés	10			20		1			10
2000-2004 - Circuits imprimés	50			20		10			10
Airbag	50			20		10			50
Voiture	212								
Voiture intérieur	14	0							
Voiture siège couverture	256								
Voiture sièges	66								
Pièces VHU européens	5751				18		6250		
Intérieur 1	17000			20		10			50
Intérieur matériau 1					9				
Intérieur matériau 2					137				
Intérieur Mazda 1998	52								
Intérieur Pontiac 1997	18								
Coffre à bagage	50			20		10			50
Circuits imprimés échantillon 1				2		2			
Circuits imprimés échantillon 3				2					
Circuits imprimés échantillon 4				4		1			
Mousse PU de vieux sièges	1								
Mousse PU de vieux sièges, forte contamination				941				860	
Mousse PU de vieux sièges, faible contamination				0				2	

¹³⁶ Revue bibliographique des concentrations en substances réglementées dans les plastiques des véhicules hors d'usage, INERIS, 2018

Mousse PU de sièges de voitures US	9			8				69	
Mousse PU Pontiac 1997	522			2770				22736	
Mousse PU pour application automobile			40000						
Radiateur, extérieur	50			20		10			50
Siège couverture	27000			51		10			50
Siège couverture matériau				51					
Siège couverture Mazda 1998	22700								
Siège couverture Pontiac 1997	22500			336				3039	
Isolant phonique 1	50			20		10			4400
Isolant phonique 2	7000			20		10			50
Pièces plastiques de voiture US/Asie	35						6		
Total Voiture	3469	0	40000	252	40	7	4169	4594	431

Les valeurs colorées en rouges signifient un dépassement de la limite de concentration.

Dans le rapport *Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation*, Commission Européenne, 2021, **les teneurs moyennes en PBDE et décaBDE** dans les VHU dépassent le seuil réglementaire et sont respectivement de 1600 ppm, 3100 ppm. Les valeurs médianes sont encore une fois nettement inférieures (ce qui peut s'expliquer par la présence de certains objets très concentrés mais peu représentatif de l'échantillon). **La concentration en HBCD** est d'environ 400 ppm. Ces données sont présentées dans le Tableau 19. Il n'est pas précisé si les teneurs concernent les plastiques ou les textiles.

Tableau 19 : Synthèse des concentrations médianes, moyennes et maximum avant tri en PBDE, décaBDE et HBCD dans les plastiques des VHU issues de la littérature. (compilation RECORD, 2024) (CE, 2021¹³⁷)

Catégorie	POP	Concentration (ppm)		
		médiane	moyenne	max
VHU	PBDE	6	1623	85000
	DecaBDE	31	3102	85000
	HBCD	10	386	4400

Les valeurs colorées en rouges signifient un dépassement de la limite de concentration.

Analyse croisée et synthèse

Les teneurs moyennes en décaBDE et en HBCD issues du rapport INERIS et de la CE sont comparables sur le périmètre complet de la voiture. Cependant, les concentrations moyennes en PBDE tous compris sont fortement éloignées. Cette différence peut être due à la prise en compte d'une grande diversité de POP dans le calcul qui abaisse globalement la concentration moyenne dans les résultats de l'étude INERIS. Les concentrations en PBDE ne seront donc pas utilisées dans la suite.

Le plastique dans les éléments de construction

En ce qui concerne les flux de déchets plastiques issus des déchets du bâtiment, pour les PBDE, les plastiques issus des déchets du bâtiment comprennent une large gamme de produits de construction tels que des éléments structurels, des isolants, mais peuvent aussi contenir des câbles ou fils électriques. Ce flux plastique représente une part significative des déchets, avec environ 930 000 tonnes annuelles. Les concentrations de PBDE, utilisés comme retardateurs de flamme, varient largement selon les produits. Pour certains produits, les concentrations typiques se situent entre 25 000 et 375 000 mg/kg, pouvant atteindre jusqu'à 625 000 mg/kg. Les concentrations au-delà de 75 000 mg/kg (soit plus de 7% en masse), sont spécifiques aux plastiques isolant les câbles électriques. Cependant, certains plastiques de construction ne contiennent pas de PBDE, comme les revêtements de sol en PVC, où la concentration est nulle, ou peu comme les membranes d'étanchéité, avec moins de 1 250 mg/kg.

La concentration en PBDE varie de 0 à 375 000 mg/kg, avec une moyenne estimée qui pourrait atteindre 2 000 mg/kg entre 2040 et 2060. Une étude de Hennebert en 2020 a révélé une concentration médiane de 0 mg/kg avec une moyenne de 1 700 mg/kg pour les produits testés (donc certains objets très concentrés en PDBE mais pas représentatifs en nombre de l'échantillon). À noter toutefois que cette étude est en fait une méta-analyse de la littérature et qu'il faut manipuler ces éléments avec attention puisqu'ils peuvent provenir de pays aux réglementations distinctes.

Le plastique dans les piles et accumulateurs

Si des études existent sur les batteries et les substances dangereuses qu'elles contiennent, rares sont celles qui mentionnent des POP, ce qui peut mener à la conclusion de l'absence de POP dans de tels éléments. Cependant, il est impossible d'ignorer une possible présence de POP dans certains cas : par exemple, les retardateurs de flammes peuvent être présents dans les plastiques entourant les batteries.

¹³⁷ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

En outre, les PCB sont trouvés principalement dans les condensateurs utilisés dans divers équipements électriques et installations. Les batteries de condensateurs présentes pour la compensation de phase des lignes de transport d'électricité peuvent être constituées de milliers de condensateurs contenant chacun 15 kg de PCB. Les grands condensateurs utilisés comme condensateurs de correction du facteur de puissance pour les charges inductives telles que les moteurs électriques peuvent contenir environ 1,4 kg de fluide 100 % PCB et se trouvent dans les usines, les bureaux, les écoles, les hôpitaux, les magasins et les installations militaires. Les petits condensateurs tels que les condensateurs de démarrage de moteur contiennent moins de 1,4 kg de fluide diélectrique et se trouvent dans tous les appareils électriques¹³⁸.

En outre, les PFAS, dont les PFOA et PFOS considérés comme POP par les règlements, sont utilisées dans les piles à combustible et les électrolyseurs pour améliorer les propriétés des membranes, améliorant ainsi les performances des systèmes¹³⁹. Si leur présence a pu être identifiée, la production de ces substances ayant été interdite, il est rare de les trouver aujourd'hui dans les piles et accumulateurs en utilisation. Aucune étude n'a pu être identifiée sur les concentrations de PFOA et PFOS dans les déchets de piles et accumulateurs aux cours des recherches effectuées. La réglementation concernant les PFAS est en révision, avec une possible restriction ou interdiction prévue pour 2025, reflétant les préoccupations croissantes quant à leur impact environnemental et sanitaire.

Les emballages plastiques

Les emballages plastiques sont aussi une source potentielle de POP dans les flux de déchets plastiques.

Le HBCD n'est plus utilisé dans les emballages depuis 2016 et les emballages sont considérés comme ayant une durée de vie très courte. En conséquence, il sera de moins en moins retrouvé dans les déchets d'emballages au cours des prochaines années. L'annexe I du règlement sur les POP a été revue pour garantir des niveaux relativement faibles de HBCD dans les nouveaux produits (100 mg/kg). La majorité des emballages en polystyrène expansé/polystyrène extrudé (EPS/XPS) contenant du HBCD devraient donc être devenus des déchets aujourd'hui et les concentrations moyennes actuelles ont été estimées très faibles. Cependant, la contamination croisée entre les emballages en EPS/XPS et les déchets de cuisine en EPS/XPS peut faire augmenter les concentrations moyennes, et il n'est pas exclu que certains emballages importés puissent encore contenir du HBCD. Le faible taux de recyclage du PSE/XPS peut donc ici être identifié comme un point positif, ayant évité une contamination des emballages actuellement utilisés.

Dans l'étude¹⁴⁰ réalisée en 2019, parmi 57 échantillons analysés d'emballages non-alimentaires pouvant donc contenir des retardateurs de flammes bromés, les résultats montrent une variation significative des niveaux de HBCD. La concentration médiane de HBCD dans ces échantillons a été mesurée à 11 mg/kg, tandis que la moyenne était plus élevée, à 232 mg/kg. Le niveau le plus élevé détecté dans un échantillon a atteint 5 897 mg/kg, ce qui a influencé la moyenne mais n'est pas représentatif de la majorité des échantillons. En effet, les auteurs ont relevé que 72 % des échantillons présentaient une concentration inférieure à 50 mg/kg. Cette distribution des valeurs indique que, bien que la majorité des échantillons contiennent des concentrations relativement faibles de HBCD, quelques échantillons présentent des niveaux élevés, soulignant de possibles valeurs aberrantes.

Tableau 20 : Synthèse des concentrations médianes, moyennes et maximum avant tri en PBDE, décaBDE et HBCD dans les emballages non ménagers issues de la littérature. (compilation RECORD, 2024) (CE, 2021¹⁴¹)

Catégorie	POP	Concentration (ppm)		
		médiane	moyenne	max
	HBCD	11	232	5897

Les valeurs de couleur rouge signalent un dépassement de la limite de concentration.

¹³⁸ Polychlorinated Biphenyls, HELSINKI COMMISSION Baltic Marine Environment Protection Commission

¹³⁹ Per- et polyfluoroalkylés (PFAS), pollution et dépendance : Comment faire marche arrière ?, C. Isaas-Sibille, 2024

¹⁴⁰ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation (EU) 2019/1021

¹⁴¹ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

En outre, il est courant d'utiliser des PFAS dans les emballages alimentaires. Parmi ces substances, la présence de PFOA et PFHxS a été identifiée dans certains cas. Comme précédemment, ces substances étant actuellement interdites et la durée de vie d'un emballage alimentaire étant supposée courte, les flux de déchets de ces emballages contenant des POP sont donc présumés faibles. Cela reste toutefois conditionné par le taux de recyclage des emballages ainsi que par la technologie de recyclage utilisée pour traiter les matériaux concernés. Les POP présents dans les emballages seront ainsi considérés comme négligeables et non-étudiés dans les prochaines étapes de cette étude.

Les emballages peuvent également être pollués par leur contenu, propos détaillés dans la suite du rapport dans la partie Focus sur les produits chimiques et les déchets contaminés par des produits chimiques pouvant contenir des POP. Par exemple, les contenants de pesticides POP sont considérés comme des déchets POP en fin de vie. Ils sont pris en charge et éliminés par A.D.I.VALOR.

Les jouets en plastique, des déchets contaminés aux POP via des matières issues du recyclage

Les jouets sont aussi une catégorie de produits et déchets pouvant contenir des POP. En effet, dans le cadre de campagnes de caractérisation réalisées, du HBCD, du PBDE et du PCCC ont été identifiées dans des jouets pour enfants. Sur un échantillon de 16 jouets analysés en République Tchèque, 37% contenaient du PBDE, dont 2 jouets pour lesquels la teneur dépasse le seuil réglementaire de 1 000 ppm¹⁴².

Récemment, des études se sont intéressées aux jouets fabriqués à partir de plastiques recyclés. Parmi les échantillons originaux recueillis, 109 articles ont été identifiés comme susceptibles de contenir des retardateurs de flamme provenant de déchets électroniques recyclés. Une analyse chimique plus détaillée révèle que :

- 94 échantillons (86%) contiennent entre 1 et 161 ppm d'octaBDE
- 50 échantillons (46%) dépassent la limite fixée pour les concentrations d'octaBDE de 10 ppm du règlement de l'UE sur les POP pour les produits fabriqués à partir de plastique neuf plutôt que recyclé
- 100 échantillons (92%) contiennent entre 1 et 3310 ppm de décaBDE

Les concentrations les plus élevées de PBDE ont été mesurées dans des jouets pour enfants, suivis des accessoires pour cheveux et des ustensiles de cuisine. La concentration la plus élevée de PBDE (3 318 ppm soit 0,3% du poids du produit) a été retrouvée dans un jouet (guitare) vendu au Portugal.

Ces résultats montrant que les jouets sont des produits qui appellent à faire preuve de prudence de par leur exposition à des populations particulièrement sensibles, et que la présence de POP, pourtant interdits, est possible.

D'autres produits du quotidien comme les articles de bricolage et de jardinage peuvent contenir des POP. En effet, certains articles ou revendeurs d'outils identifient la présence de PFAS, dont des PFOA et PFOS, dans des outils de jardinage ou de bricolage. Il est par exemple possible de citer les matériaux et composants présents sur les outils comme les boîtiers, plastiques à haute performance et matériaux en caoutchouc, les joints d'étanchéité, le adhésifs et lubrifiants, les composants électroniques, les câbles et fils, ou les vis et boulons pour la fixation des lames de tondeuses à gazon dans les machines de jardinage¹⁴³. Cependant, aucune donnée chiffrée disponible n'est disponible.

3.1.2.3 Focus sur le caoutchouc et les déchets produits à partir de caoutchouc pouvant contenir des POP

Des substances POP, telles que les PCB¹⁴⁴ et les HAP, peuvent être présentes dans le caoutchouc en raison de leur utilisation dans divers additifs et traitements chimiques.

D'après un entretien avec Aliapur, l'éco-organisme spécialisé dans la collecte et le recyclage de pneus usagés en France, les pneus usagés sont peu susceptibles de contenir des POP. Les seules

¹⁴² [Toy or Toxic Waste? An Analysis of 47 Plastic Toy and Beauty Products Made from Toxic Recycling](#), Jitka Straková & Jindřich Petřík, Arnika – Toxics and Waste Programme, December 2017

¹⁴³ Factsheet "PFAS in power tools", ZVEI

¹⁴⁴ Type, Sources, Methods and Treatment of Organic Pollutants in Wastewater, P. Shumbula, C. Maswanganyi, N. Shumbula, 2021

substances possiblement présentes sont des traces de HAP car les pneus peuvent contenir des huiles hautement aromatiques et du noir de carbone.

De plus, d'autres articles comme les panneaux d'isolation en caoutchouc et l'isolation électrique peuvent contenir respectivement jusqu'à 75 000 mg/kg et entre 125 000 et 375 000 mg/kg de PBDE¹⁴⁵.

Concernant les revêtements de sols sportifs avec des granulats de caoutchouc recyclés, certains produits importés peuvent contenir des HAP, mais dont les taux sont contrôlés par les vendeurs européens de granulats. Néanmoins, une étude réalisée par Diekmann et al.¹⁴⁶ confirme que les HAP peuvent être détectés dans les biens de consommation fabriqués à partir de caoutchouc recyclé et sont libérés dans l'environnement. Ils atteignent l'homme par lixiviation (sol, eaux souterraines, rivières), par ingestion orale, par exposition cutanée et par inhalation. La quantité de HAP présente dans l'environnement, comparable à celle que l'on trouve dans la pollution urbaine, n'est pas considérée comme suffisamment élevée pour représenter un danger pour la santé humaine. Par conséquent, les études d'évaluation des risques examinées dans ce rapport n'ont identifié aucun risque sérieux pour la santé.

Un autre sujet sur les produits en caoutchouc concerne le moulage de caoutchouc. En effet, lors de l'importation, certaines substances nocives peuvent être présentes dans les produits (le moule ou le caoutchouc) sans qu'elles soient formellement identifiées.

Finalement, les paraffines chlorées à chaîne courte (C10-C13 – PCCC, ou SCCP en anglais) sont souvent utilisées (entre autres usages) dans les câbles en plastique recouverts de caoutchouc (représentant entre 15 et 30% des utilisations des SCCP)¹⁴⁷. En effet, la Convention de Stockholm comprend des exemptions pour la production de PCCC pour certains usages, notamment en tant qu'additifs dans la production de courroies de transmission dans l'industrie du caoutchouc naturel et synthétique. Des études ont montré que les teneurs en SCCP dans les caoutchoucs pouvaient atteindre jusqu'à 17% en masse (entre 10,000 to 170,000 mg/kg)

3.1.2.4 Focus sur les huiles et les déchets produits à partir d'huiles pouvant contenir des POP

Les huiles usagées peuvent contenir plusieurs composants nocifs pour la santé humaine et l'environnement, notamment des HAP absorbés dans les huiles à la suite de la combustion incomplète dans les moteurs, des particules de métaux lourds produites par l'usure des machines, et des additifs tels que les PCB, les PCCC et d'autres produits chimiques utilisés pour améliorer les performances de ces huiles. Les PCB, PCCC et les PFC ont été largement utilisés dans le passé pour diverses applications industrielles, y compris dans les lubrifiants. Cependant, en raison de leur persistance dans l'environnement et leur capacité à s'accumuler dans les tissus biologiques, l'utilisation de ces substances a été fortement réglementée et, dans de nombreux cas, interdite (sauf pour les PCCC qui ont une exemption pour l'utilisation en tant qu'additifs pour lubrifiants, en particulier pour les moteurs d'automobiles). En outre, les fluides contenant des PCCC et des PCB étaient utilisés dans les usines métallurgiques pour des opérations comme le pressage ou le perçage, notamment avant 1975. Des études ont montré que les teneurs en SCCP dans les lubrifiants ou les fluides de métallurgie pouvaient atteindre jusqu'à 70% en masse (entre 10,000 to 700,000 mg/kg).

Si des POP ont été présents dans les huiles, l'évolution de la réglementation et des pratiques font que certaines substances ne sont pas ou plus étudiées car elles sont absentes du produit. Par exemple, l'utilisation de PFHxS dans les lubrifiants a été indiquée par l'IPEN et Arnika, mais aucune information qualitative ou quantitative supplémentaire sur cette utilisation n'a été identifiée par la suite. Même si aucune information n'est disponible sur le PFHxS dans les nouveaux lubrifiants, dans les lubrifiants usagés ainsi que dans les huiles lubrifiantes raffinées à partir d'huiles usagées, la présence ou la contamination par le PFHxS, ses sels et les substances apparentées ne peut être exclue. Ceci illustre un manque de donnée sur la présence de POP dans certaines huiles.

Historiquement, de nombreux secteurs liés à l'industrie ont créé des éléments contenant des PCCC. Toutefois, depuis l'entrée en vigueur de la Directive 2002/45/CE en 2004, qui interdit ces substances, l'utilisation des PCCC a été considérablement réduite. Avant 2004, les concentrations de PCCC dans les liquides de travail des métaux pouvaient atteindre de 50 000 à 700 000 mg/kg dans les fluides de coupe à base d'huile et moins de 10 000 mg/kg dans les fluides en émulsion. Les lubrifiants pouvaient

¹⁴⁵ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

¹⁴⁶ Polycyclic aromatic hydrocarbons in consumer goods made from recycled rubber material: A review, A. Diekmann, U. Giese, I. Schaumann, 2019

¹⁴⁷ Short-chain chlorinated paraffins as high volume POP in the Stockholm Convention – risk for waste oils?, R. Weber, 2023

contenir entre 300 000 et 700 000 mg/kg, avec une concentration moyenne estimée à 500 000 mg/kg. Depuis l'interdiction, la limite maximale de contenu en PCCC pour les substances ou préparations utilisées dans le travail des métaux ou le graissage du cuir a été fixée à 10 000 mg/kg. Les déchets contenant des PCCC sont considérés comme négligeables en 2020, car il est estimé que la plupart des fluides contenant des PCCC ont déjà été éliminés et gérés, compte tenu des cycles de vie relativement courts des fluides de traitement des métaux et des cuirs traités.

Concernant les PCB, les huiles usagées en contenant représentent une quantité significative de déchets, avec environ 1,7 million de tonnes produites. Ces huiles contaminées par des PCB sont principalement associées aux DEEE. La concentration de PCB dans ces huiles varie largement. Par exemple, les huiles de condensateurs peuvent contenir de 50 à 600 000 mg/kg, avec plus de 75 % de ces huiles ayant une concentration inférieure à 50 mg/kg. Pour les huiles de transformateur, la concentration varie de 50 à 500 mg/kg pour celles d'origine européenne, et de 2 000 à 100 000 mg/kg pour celles provenant hors de l'UE. Les déchets d'huiles usagées montrent généralement des concentrations inférieures à 500 mg/kg. En ce qui concerne les huiles usagées typiques, les concentrations plus basses se situent autour de 2,5 mg/kg, tandis que les plus élevées peuvent atteindre 15 mg/kg ou plus.

L'HAP fait également partie des POP identifiés dans les huiles par certaines études. Une étude a été réalisée par Wu and al.¹⁴⁸ sur des échantillons prélevés dans des entreprises de production et de régénération d'huiles minérales usagées des secteurs de l'entretien des véhicules, de l'usinage et de la synthèse chimique à Chongqing, en Chine, et évalue la concentration en HAP de ces huiles. La teneur en HAP de l'huile brute, de l'huile semi-raffinée et de l'huile raffinée est indiquée dans le Tableau 21. On y voit également que la teneur en naphthalène dans les trois types d'huiles régénérées est la plus élevée au sein des HAP, représentant plus de 50 % des HAP présents. La teneur totale en HAP, de la plus élevée à la plus faible, était la suivante : huile semi-raffinée (273,1 mg/kg) > huile raffinée (133,8 mg/kg) > huile brute (106,2 mg/kg). Ce phénomène est lié au processus de craquage catalytique du pétrole brut et au processus de raffinage par adsorption du pétrole semi-raffiné.

Tableau 21 : Concentration en HAP dans des huiles brutes, semi-raffinées ou raffinées (en mg/kg) (compilation RECORD, 2024) (Wu, X., 2016)

PAHs	Crude oil		Semi-refined oil		Refined oil	
	Range	Mean value	Range	Mean value	Range	Mean value
Nap	38.77–76.28	57.93	127.11–154.30	140.71	50.78–109.66	78.67
Acy	0.79–3.18	1.79	2.25–9.63	5.94	0.93–8.05	3.38
Ace	0.66–1.75	1.13	19.97–27.60	23.79	11.96–19.47	15.57
Flu	2.47–27.06	11.06	14.61–27.54	21.08	0.67–12.27	5.83
Phe	6.39–15.78	11.05	n.d.–0.94	0.47	n.d.–0.62	0.39
Ant	2.29–10.88	7.11	26.80–47.74	37.27	13.67–28.77	20.37
Fla	1.38–3.07	1.95	n.d.–0.27	0.13	0.96–1.41	1.16
Pyr	3.00–6.48	4.37	14.52–27.60	21.06	0.23–12.17	6.83
BaA	0.76–4.56	2.18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Chr	0.14–4.89	1.92	2.12–6.84	4.48	0.72–0.85	0.80
BbF	n.d.–6.91	2.37	n.d.–0.01	0.01	n.d.–0.02	0.01
BkF	0.01–1.86	0.70	0.12–2.10	1.12	0.10–0.29	0.19
BaP	0.48–1.73	0.97	0.06–9.72	4.89	0.10–0.92	0.50
InP	0.14–2.89	1.07	n.d.–1.72	0.86	n.d.	n.d.
DBA	n.d.–0.11	0.05	n.d.–1.81	0.90	n.d.	n.d.
BgP	0.23–0.86	0.55	n.d.–21.85	10.93	n.d.–0.20	0.08
PAHs	62.33–133.06	106.19	208.79–338.43	273.07	93.74–192.54	133.77

PAHs: polycyclic aromatic hydrocarbons.

D'autres études se sont plus spécifiquement intéressées à la présence d'HAP dans les huiles de voitures. Une première étude réalisée en 2000¹⁴⁹ a permis d'identifier la présence de nombreux HAP au sein de ces huiles. Il était intéressant de remarquer que selon les kilomètres parcourus par une voiture, la concentration en HAP augmente. Par exemple, cette concentration passe de 2,6 µg/g lorsque la voiture n'a pas roulé à 1 295 µg/g après 3 635 km. Une autre plus récente, en 2015¹⁵⁰, étudie des échantillons d'huile moteur qui ont été prélevés dans différents ateliers d'entretien automobile de Johannesburg, où l'analyse de 5 HAP cibles a été effectuée dans des échantillons d'huile moteur fraîche

¹⁴⁸ Pollution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in common used mineral oils and their transformation during oil regeneration, Xiaohui Wu, Bo Yue, Yi Su, Qi Wang, Qifei Huang, Qunhui Wang, Hongying Cai, 2016

¹⁴⁹ polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive exhaust emissions and fuels, D.E. Hall, R. Doel R. Jørgensen D.J. King N. Mann P. Scorletti P. Heinze, 1998

¹⁵⁰ Characterization and quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in used and fresh engine oil by chromatography and spectroscopy techniques, LN. Shakoane, 2015

et usagée (différentes bandes d'huile). Dans cette seconde étude, concentration de HAP de 4,8 µg/g pour de l'huile neuve et 190 µg/g pour une huile usagée. Les résultats sont relativement similaires, mais la comparabilité est limitée entre ces études, car les taux peuvent varier selon les distances, huiles utilisées, types de voitures.

Il est à noter que les huiles collectées partent soit en valorisation énergétique (25%), soit en régénération (75%). Lors de la régénération, le résidu de distillation, soit 20% du poids, contient les additifs ajoutés à l'huile et les contaminants de son utilisation, qui peuvent contenir probablement des POP. Ainsi, ce résidu, qui peut être réutilisé pour faire des membranes d'étanchéité de voiture, peut être sources de POP dans l'environnement. Les huiles usagées peuvent aussi être downcyclées en additifs d'asphalte ou briques. Pour cet autre usage, la question du transfert de POP est également présente pour sa nouvelle utilisation.

3.1.2.5 Focus sur les textiles et les déchets produits à partir de textiles pouvant contenir des POP

Cette partie ne va pas seulement se limiter aux les textiles mais elle est élargie avec les chaussures et autres éléments en lien avec des tissus comme les éléments d'ameublements. En effet, il est possible d'identifier un certain nombre de composants comprenant des POP comme les vêtements de plein air, les textiles industriels, les semelles de chaussures, les rideaux ou encore les nappes. Les principaux POP retrouvés au sein de ces articles sont :

- PBDE,
- PFOA et ses composés,
- PFHxS et ses composés,
- PCP et ses esters,
- PCDD/F,
- PBB, PCB
- L'aldrine et la dieldrine (pesticide dans l'industrie du textile).

Les textiles et chaussures

Les polybromobiphényles (PBB) et les polychlorobiphényles (PCB), autrefois employés dans les textiles pour leurs propriétés ignifuges, sont aujourd'hui interdits en Europe en raison de leur toxicité. Depuis les années 1980, leur utilisation a été drastiquement réduite, et des réglementations strictes ont été mises en place pour leur élimination progressive. En conséquence, leur présence dans les textiles contemporains est devenue extrêmement rare, voire inexistante. Les efforts conjugués des autorités et des industriels européens ont permis de presque éradiquer ces substances des produits textiles, contribuant ainsi à la protection de la santé humaine et de l'environnement¹⁵¹.

Pour les PBDE, selon une étude¹⁵² réalisée en 2019, environ 60 à 95 % des déchets textiles contiennent moins de 200 mg/kg de PBDE. Ces résultats ont été observés parmi 437 échantillons analysés. Bien que la concentration médiane de PBDE ait été mesurée à 0 mg/kg, indiquant l'absence de ces composés dans la majorité des échantillons, la moyenne a été étonnamment élevée à 2080 mg/kg (cf. Tableau 22). Cette disparité suggère la présence d'échantillons avec des concentrations extrêmement élevées, allant jusqu'à 375 000 mg/kg, qui ont influencé la moyenne. Par ailleurs, dans une analyse ciblée du décaBDE sur 75 échantillons, les résultats ont également montré une médiane de 0 mg/kg et une moyenne plus élevée de 6 511 mg/kg. Ces données mettent en lumière l'existence de quelques échantillons avec des niveaux significativement élevés de PBDE, tout en confirmant que la majorité des textiles testés ne contiennent pas ces substances. La plupart des textiles contenant des PBDE sont probablement déjà devenus des déchets donc les quantités d'éléments textiles contenant des PBDE sont en réduction continue et devraient disparaître.

¹⁵¹ Hazardous substances in textile products, M. Nijkamp, L. Maslankiewicz, J.E. Delmaar, J.J.A. Muller, 2014

¹⁵² Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation (EU) 2019/1021

Tableau 22 : Synthèse des concentrations médianes, moyennes et maximum avant tri en PBDE, décaBDE et HBCD dans les textiles issus de la littérature. (compilation RECORD, 2024) (CE, 2021¹⁵³)

Catégorie	POP	Concentration (ppm)		
		médiane	moyenne	max
Textiles et ameublement	PBDE	0	2080	130000
	DecaBDE	0	6511	120000
	HBCD	0	3465	51000

Une bibliothèque d'échantillons a été créée pour une autre étude effectuée en 2012¹⁵⁴, comprenant trois couleurs différentes de rideaux de fenêtre (A : marron, B : rouge, C : marron), trois types de mousse d'intérieur de voiture (D : mousse grise, E : mousse gris foncé, F : rembourrage en caoutchouc) et deux types de matériaux d'intérieur de voiture (G : housse de siège de voiture en tissu, H : mousse de coussin marron dans le siège de la voiture). Le Tableau 23 illustre les résultats de cette étude montre que les PBDE sont faiblement présents dans les éléments testés il y a 10 ans. Ces chiffres sont assez cohérents avec les conclusions réalisées précédemment.

Tableau 23 : Concentration de PBDE dans différents échantillons de textiles (ppb) (Shin, J., 2012)

Sample	A	B	C	D	E	F	G	H
BDE-3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-7	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-15	0.081	N.D	N.D	0.081	0.412	0.346	0.322	0.106
BDE-17	0.015	N.D	0.020	0.015	1.171	0.191	0.043	0.054
BDE-28	0.066	0.045	0.045	0.066	1.730	0.502	0.157	0.093
BDE-47	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-49	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-66	0.490	0.121	0.236	0.490	25.015	2.275	2.250	0.774
BDE-71	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-77	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-85	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.187	N.D	N.D
BDE-99	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-100	0.082	0.015	0.018	0.082	1.712	0.125	0.455	0.161
BDE-119	0.346	0.093	0.129	0.346	5.259	0.457	2.256	0.978
BDE-126	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-138	N.D	N.D	N.D	N.D	0.033	N.D	N.D	0.151
BDE-153	0.105	0.032	0.018	0.105	0.223	3.004	0.218	0.186
BDE-154	0.044	N.D	N.D	0.044	0.146	N.D	0.106	0.184
BDE-156	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-183	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.354	N.D
BDE-184	0.145	N.D	0.075	0.145	N.D	54.419	0.621	N.D
BDE-191	0.182	N.D	0.068	0.182	N.D	N.D	N.D	N.D
BDE-196	N.D	N.D	0.152	N.D	0.361	N.D	N.D	N.D
BDE-197	1.202	1.363	0.375	1.202	0.603	5298.064	13.176	7.914
BDE-206	32.815	10.214	9.156	32.815	22.725	17532.430	181.766	148.744
BDE-207	37.547	35.157	11.714	37.547	40.959	30706.422	563.539	424.589
BDE-209	2363.422	2612.193	1172.388	2363.422	1757.354	601360.690	9651.005	13292.451
ΣPBDEs	2436.542	2659.235	1194.395	2436.542	1857.703	654959.112	10413.268	13876.385

A, B, C: three kinds of curtains; D, E, F: three kinds of interior foam in a car; G, H: two kinds of interior materials in a car (10 years ago).

Les PFOA et les PFOS sont des substances chimiques de la famille des perfluorés, utilisées pour leurs propriétés hydrofuges et anti-tâches dans l'industrie textile. Ils ont été largement appliqués dans la fabrication de vêtements de plein air, tels que les vestes imperméables et autres équipements sportifs. Cependant, en raison de leur persistance dans l'environnement et de leur potentiel de bioaccumulation, ainsi que de leurs impacts négatifs possibles sur la santé humaine, l'utilisation de PFOA et PFOS a fait l'objet de réglementations.

¹⁵³ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

¹⁵⁴ Shin, J. H.; Baek, Y. J. (2012). Analysis of polybrominated diphenyl ethers in textiles treated by brominated flame retardants. Textile Research Journal, 82(13)

Les études¹⁵⁵ sur la présence de PFOA et de PFOS dans les textiles montrent des petites variations en fonction du type de textile et de leur utilisation spécifique. Pour le PFOA, les concentrations varient légèrement selon la catégorie de textile :

- Vêtements de sécurité : Les concentrations de PFOA vont de 0,078 à 1 710 µg/kg, reflétant l'utilisation de traitements résistants aux produits chimiques pour ces types de vêtements.
- Tentes, vêtements d'extérieur et résistants à l'eau, parapluies et chaussures : Ces articles présentent des concentrations de PFOA allant de 0,029 à 3 020 µg/kg, ce qui indique l'emploi fréquent de composés perfluorés pour leurs propriétés hydrofuges.
- Tapis : Ils montrent des concentrations beaucoup plus basses, de 0,001 à 368 µg/kg, ce qui peut être attribué à des applications différentes ou moins intensives de traitement.

Pour le PFOS, une enquête sur les vêtements d'extérieur achetés sur le marché européen a trouvé des concentrations variant de 0,02 à 3,2 µg/m² dans 9 des 49 échantillons analysés. Cette présence, bien que généralement faible, souligne l'utilisation continue de PFOS dans certains produits textiles malgré les réglementations strictes visant à réduire leur utilisation en raison de leur toxicité et de leur persistance environnementale.

Finalement, ces résultats sont corroborés avec un échantillon de 32 textiles¹⁵⁶ achetés en Thaïlande de manière aléatoire donc les résultats sont présents dans le Tableau 24. En effet, si les PFOA et les PFOS sont présents dans l'ensemble des échantillons examinés, leur quantité reste faible et dans des intervalles cohérents.

Tableau 24 : Concentration de PFOS et PFOA dans des échantillons de textiles (Supreeyasunthorn, P., 2016¹⁵⁷)

Category	Item (n)*	Area (cm ² /g)	PFOS (µg/m ²) Avg. (Min–max)	PFOA (µg/m ²) Avg. (Min–max)
Body contact	Diaper (2)	89	0.04 (0.02–0.05)	0.86 (0.40–1.32)
	Shirt (2)	98	0.04 (0.03–0.04)	0.57 (0.31–0.84)
	Pants (3)	49	0.15 (0.06–0.30)	1.65 (1.00–2.87)
	Footwear (2)	27	0.18 (0.17–0.18)	1.63 (1.37–1.90)
	Towel (2)	28	0.24 (0.18–0.29)	1.91 (1.11–2.70)
	Uniform (3)	35	0.21 (0.16–0.28)	1.37 (0.60–1.91)
	Bag (3)	27	0.32 (0.09–0.46)	10.97 (8.03–14.14)
Household use	Curtain (2)	54	0.15 (0.15–0.16)	1.36 (1.27–1.46)
	Upholstery (3)	32	0.15 (0.13–0.16)	8.59 (2.10–13.03)
	Carpet (2)	22	0.40 (0.19–0.61)	6.50 (3.41–9.59)
	Blanket (1)	40	0.45 –	1.68 –
	Tablecloth (1)	134	0.03 –	0.42 –
Outdoor use	Umbrella (3)	140	0.07 (0.04–0.11)	0.63 (0.47–0.93)
	Sunshade (1)	29	0.31 –	2.44 –
	Tent (2)	126	0.04 (0.03–0.04)	0.55 (0.46–0.63)
		Avg.	<u>0.18</u>	<u>2.74</u>

*(n): Number of samples; 5 replicates for each sample.

En outre, des PFAS dont des PFOA, PFOS ou PFHxS ont été retrouvés dans les eaux usagées de l'industrie du textile avec une étude de Cantoni et al.¹⁵⁸. Cette étude montre que les PFAS, actuellement interdits comme ceux classés POP ou non, sont présents dans l'industrie du textile et rejetés dans les eaux et qu'il est ainsi important de les traiter afin de réduire les risques environnementaux à l'avenir.

¹⁵⁵ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

¹⁵⁶ Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) contamination from textiles, P. Supreeyasunthorn, S. K Boontanon, N. Boontanon, 2016

¹⁵⁷ Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) contamination from textiles, P. Supreeyasunthorn, S. K Boontanon, N. Boontanon, 2016

¹⁵⁸ PFAS in textile wastewater: An integrated scenario analysis for interventions prioritization to reduce environmental risk, Process Safety and Environmental Protection, B. Cantoni, G. Bergna, E. Baldini, F. Malpei, M. Antonelli, (2024)

Au cours des années 1989 à 1994, plusieurs études ont été menées pour mesurer la concentration en PCP dans divers produits, en particulier les textiles et les articles en cuir en Allemagne. En 1989, une analyse de 140 tapis a révélé que 88 % d'entre eux contenaient moins de 5 ppm de PCP, bien que trois échantillons aient enregistré des niveaux supérieurs à 50 ppm. Entre 1990 et 1993, 660 produits en cuir, y compris des chaussures, des gants et des semelles intérieures, ont été testés dans 11 États fédéraux allemands, avec environ 24 % des articles dépassant la limite de 5 mg/kg pour le PCP. En 1992, dans le Bade-Wurtemberg, 29 % des 86 produits en cuir analysés excédaient également cette valeur limite. À Berlin, une étude de 1993 a révélé qu'un seul échantillon sur 21 dépassait les 5 ppm. En 1994, l'école allemande de tannage a trouvé que seulement 3 % de 170 échantillons analysés dépassaient les 5 mg/kg. Pour ce qui est des textiles, une analyse de 32 T-shirts en coton en 1994 a montré que tous avaient des concentrations de PCP inférieures à 0,03 mg/kg, indiquant une très faible présence de cette substance dans les textiles à cette période¹⁵⁹.

Finalement, les industries textiles sont des sources potentielles de POP produits involontairement, notamment de dioxines (PCDD) et de furanes (PCDF). Le Bangladesh a signalé un niveau élevé de rejets de PCDD/PCDF de 51 g TEQ/a provenant d'usines textiles dans son plan national de mise en œuvre de la convention de Stockholm en 2005. Le Vietnam estime que les principaux POP émis par l'industrie textile vietnamienne sont les PCDD/PCDF, provenant principalement des teintures pour tissus. Ces émissions sont dues à plusieurs sources potentielles :

- Les matières premières peuvent être contaminées par des PCDD/PCDF à la suite de l'utilisation de pesticides,
- Les teintures et les pigments utilisés sur les fibres et les textiles peuvent être contaminés par des PCDD/PCDF,
- Les procédés d'apprêt peuvent inclure l'utilisation de produits chimiques contaminés par des PCDD/PCDF.

La contamination des fibres textiles pendant la production et le finissage a été étudiée par Horstman et al.¹⁶⁰ Des tissus de coton ont été soumis à une série de 16 procédés de finissage typiques et analysés pour les PCDD/F à différents stades du traitement. Leur concentration était très faible dans tous les échantillons. Les concentrations maximales trouvées dans les produits textiles bruts étaient de 30 ng/kg pour le coton et de 45 ng/kg pour les matériaux synthétiques.

Finalement, sur les articles de sports, en 2014, des laboratoires indépendants ont analysé des articles de sports en 2014, et y ont identifié des PFC, des PFAS, des nonylphénoléthoxylates (NPE), des phtalates et du diméthylformamide (DMF). En particulier, 80% des chaussures de football et 50% des gants de gardien contenaient des PFAS, notamment du PFOA¹⁶¹.

Les éléments d'ameublement

Plusieurs études visent à quantifier la présence de POP dans les éléments d'ameublements mais très peu se concentrent sur les déchets d'ameublement en tant que tels.

L'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016), analyse parmi ses 126 échantillons (comprenant entre autres des textiles, des revêtements de sol (tapis, moquette)), la présence de deux classes de PFAAs (PFASs et PFCAs). Les PFAAs ont été détectées dans quasiment tous les échantillons (88 %), et plus particulièrement les PFOS (64 % des échantillons). Les textiles et les revêtements de sol ont des teneurs en PFAAs très variables, pouvant aller jusqu'à respectivement 78 et 38 µg /kg. Cependant, le PFOS n'est qu'à 3,2 µg/kg dans les textiles, et de 6 à 20 µg/kg dans les tapis (ce qui excède cependant la limite de 1 µg/m² de PFOS de la réglementation européenne pour ces objets).

¹⁵⁹ OSPAR Commission 2001 (2004 Update)

¹⁶⁰ M. Horstman, M. S. Mclachlan, and M. Morgenroth, *Organohalogen Compounds* 11 (1993) 417–420.

¹⁶¹ Football merchandise produced by Adidas, Nike and Puma ahead of the 2014 FIFA World Cup in Brazil has been found to contain hazardous chemicals, according to a new investigation by AQSIIQ.AQSIIQ Association, 2014

Tableau 25 : Comparaison de la concentration des PFAA dans différents matériaux notamment les textiles et revêtements de sol (compilation RECORD, 2024) (Becanova, J., 2016¹⁶²)

Table 1. Comparison of Σ_{15} PFAA concentrations within four categories of materials.

Category	Group	n _{total} ^a (n _{positive})	min - max (median) ^b μgkg^{-1}	Intra-category Kruskal-Wallis test ^c
Household equipment	Textile	1A 23 (19)	<MQL ^d - 77.6 (1.15)	n.s.
	Floor covering	1B 9 (9)	0.310–38.4 (2.09)	n.s.
	EEE	1C 18 (16)	<MQL - 11.7 (0.384)	n.s.
	Plastics	1D 4 (3)	<MQL - 0.384 (0.029)	n.s.
Building materials	OSB and wood	2A 14 (14)	1.39–18.3 (4.87)	*(2C, 2E, 2F)
	Insulation materials	2B 16 (16)	0.068–34.3 (3.55)	*(2E)
	Mounting and sealing foam	2C 6 (4)	<MQL - 1.28 (0.230)	*(2A)
	Facade materials	2D 8 (6)	0–24.5 (0.618)	n.s.
	Polystyrene	2E 5 (1)	<MQL - 0.18 (0.00)	*(2A, 2B)
	Air conditioning	2F 5 (5)	0.057–0.295 (0.135)	*(2A)
Car interior materials	–	3 10 (10)	0.033–35.5 (1.34)	n.a.
WEEE	–	4 7 (7)	0.046–2.20 (1.42)	n.a.

Une autre étude de 2015 *Are imported consumer products an important diffuse source of PFASs to the Norwegian environment?* vise à quantifier les PFAS dans les produits du quotidien, dont des tapis, des textiles d'ameublement et moquette. Les PFAS ont été détectées dans les deux tiers des échantillons - le PFOA étant le plus fréquent - mais les concentrations respectent les limites réglementaires. Bien que le PFOS ait été détecté dans un échantillon de moquette à 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, la majorité des échantillons étaient conformes aux limites réglementaires pour le sulfonate de perfluorooctane sulfonate dans l'UE. Cette valeur est cohérente avec les résultats de l'étude précédente.

D'autres études, telles que *Survey and environmental/health assessment of fluorinated substances in impregnated consumer products and impregnating agents* (2008) ou encore *Impact of "healthier" materials interventions on dust concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances, polybrominated diphenyl ethers, and organophosphate esters* (2021) attestent de la présence des PFOA, PFOS et PBDE dans les éléments d'ameublement. La dernière compare à ce titre la concentration en Brome (de PBDE) de différents éléments d'ameublements (voir figure ci-dessous). Les valeurs varient de 25 à 125 $\mu\text{g}/\text{g}$ de Br.

¹⁶² Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes, J. Becanova, L. Melymuk, Š. Vojta, K. Komprdová, J. Klánová, 2016

Tableau 26 : Comparaison de la concentration de Brome de PBDE dans différents éléments d'ameublement (Young, AS., 2021¹⁶³)

Product Type	Bromine (µg/g)		Phosphorus (µg/g)	
	n	Median [Range]	n	Median [Range]
Foam furniture ^a	293	21.5 [ND, 79,240]	284	585.8 [ND, 22,880]
<i>By flammability standard:</i>				
“Healthier”: no FRs or PFAS	122	10.05 [ND, 4820]	114	457.4 [ND, 4827]
Conv.: TB 117-2013 with no FRs	39	7.7 [ND, 848]	40	732 [ND, 18,430]
Conv.: FRs at TB 117 or 117-2013	25	27.2 [5.9, 46,120]	25	915.9 [ND, 2416]
Conv.: FRs at TB 133	30	917 [2.6, 65,910]	30	493 [ND, 22,880]
Conv.: unlabeled	77	141 [2.2, 79,240]	75	1124 [ND, 13,140]
<i>By product type:</i>				
Chair with cushioned seat	75	25.8 [ND, 38,440]	73	491 [ND, 4450]
Armchair	126	14.95 [ND, 76,270]	120	864.1 [ND, 18,430]
Couch	62	94.6 [2, 79,240]	61	557.7 [ND, 22,880]
Ottoman	30	9.9 [2, 55,510]	30	512.6 [ND, 13,010]
Carpet	91	10.6 [0.2, 305]	91	ND [ND, 1840]
“Healthier”: no FRs	44	7.6 [0.2, 153.1]	44	99.12 [ND, 1840]
Conv.	47	21.2 [1.9, 305]	47	ND [ND, 1835]

Quelques données existent donc pour les éléments d'ameublement, mais pas au stade déchet. Cependant, les POP présents dans les objets en utilisation se retrouveront forcément dans le flux de déchets, donc peuvent être utilisée comme approximation de la teneur en POP des déchets.

Les textiles dans les VHU

Les résultats de l'étude du CE¹⁶⁴ montrent une présence significative de polluants organiques persistants (POP) dans diverses catégories de textiles de VHU.

Comme évoqué précédemment, au niveau des pièces détachées, ce sont les couvertures de sièges qui sont les pièces présentant les plus fortes teneurs en décaBDE (environ 25 000 ppm) comme le montre le tableau ci-dessous. La **teneur moyenne globales en PBDE** de 40 ppm est quant à elle très faible et largement sous le seuil réglementaire.

Les concentrations de décaBDE varient largement, atteignant jusqu'à 27,000 ppm dans les sièges couverture et 17,000 ppm pour un premier type d'intérieur (deux types d'intérieur, non détaillés, ont été testés dans l'étude). Les concentrations de C-OctaBDE et C-PentaBDE sont généralement faibles, souvent absentes ou proches de zéro dans la plupart des catégories.

Les PBDE présentent des concentrations élevées dans certains textiles de VHU, avec des pics de 22 736 ppm dans la mousse PU Pontiac 1997 pour les POP-BDE, et 2 770 ppm pour les OctaBDE. Le BDE-99 atteint 10 ppm dans plusieurs catégories de textiles, tandis que les PentaBDE montrent une concentration élevée de 3039 ppm dans la couverture de siège Pontiac 1997.

Les concentrations de HBCD varient également, atteignant jusqu'à 4400 ppm dans l'isolant phonique et 50 ppm dans plusieurs autres catégories comme les matériaux d'intérieurs et les coffres à bagages.

¹⁶³ Impact of “healthier” materials interventions on dust concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances, polybrominated diphenyl ethers, and organophosphate esters, AS Young, R. Hauser, T. M. James-Todd, B. A. Coull, H. Zhu, K. Kannan, A. J. Specht, M. S. Bliss, J. G. Allen, 2021

¹⁶⁴ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation – Final Report for DG Environment, CE, 2021

Ces données indiquent que les textiles des différents composants de VHU contiennent des niveaux significatifs de POP, ce qui souligne l'importance de traiter et de gérer correctement ces matériaux pour réduire les risques environnementaux et sanitaires liés à leur élimination ou leur recyclage.

Comme vu précédemment dans la partie traitant des plastiques dans les VHU, l'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016) montre que les DEEE peuvent également contenir des PFAA, et donc du PFOS, néanmoins en quantité relativement faible. Il n'est pas précisé si le matériau concerné est le plastique (fibres textiles 100% plastique ou rembourrage aussi de nature plastique), ou bien des fibres textiles et le rembourrage des sièges.

Tableau 27 : Concentrations moyennes avant tri en PBDE et HBCD (en ppm) dans les textiles de pièces automobiles de VHU. (compilation RECORD, 2024) (INERIS, 2018¹⁶⁵)

Concentration (ppm)	PBDE							HBCD	
	DecaBDE	C-OctaBDE	C-PentaBDE	OctaBDE	PBDE	BDE-99	POP-BDE		PentaBDE
Voiture intérieur	14	0							
Voiture siège couverture	256								
Voiture sièges	66								
Intérieur 1	17000			20		10			50
Intérieur matériau 1					9				
Intérieur matériau 2					137				
Intérieur Mazda 1998	52								
Intérieur Pontiac 1997	18								
Coffre à bagage	50			20		10			50
Mousse PU de vieux sièges	1								
Mousse PU de vieux sièges, forte contamination				941				860	
Mousse PU de vieux sièges, faible contamination				0				2	
Mousse PU de sièges de voitures US	9			8				69	
Mousse PU Pontiac 1997	522			2770				22736	
Mousse PU pour application automobile			40000						
Siège couverture	27000			51		10			50
Siège couverture matériau				51					
Siège couverture Mazda 1998	22700								
Siège couverture Pontiac 1997	22500			336				3039	
Isolant phonique 1	50			20		10			4400
Isolant phonique 2	7000			20		10			50

Les valeurs colorées en rouges signifient un dépassement de la limite de concentration.

¹⁶⁵ Revue bibliographique des concentrations en substances réglementées dans les plastiques des véhicules hors d'usage, INERIS, 2018

En outre, l'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016), évoque aussi la présence de PFOS et PFOA dans les éléments textiles à l'intérieur de voitures. Sur les 10 échantillons testés, les 10 comprenaient des PFAA et en moyenne, les concentrations de la somme des PFAA est de 1,34 µg/kg.

3.1.2.6 Focus sur les produits chimiques et les déchets contaminés par des produits chimiques pouvant contenir des POP

Parmi les POP listés sur les convention de Stockholm, plusieurs sont répertoriés comme produits chimiques industriels :

- PCB : historiquement utilisés dans des applications telles que les peintures, les mastics, et comme fluides pour les transformateurs et les condensateurs électriques, ils peuvent encore être présents dans les bâtiments plus anciens.
- PFOA, PFOS : utilisé dans la fabrication de fluoropolymères, comme le Téflon, qui sont résistants à la chaleur, aux produits chimiques et à la friction
- Bis(pentabromophényl) éther : retardateur de flamme bromé utilisé dans les plastiques et les textiles pour réduire l'inflammabilité
- Hexachlorobenzène (HCB) : utilisé comme fongicide et dans la production de certains produits chimiques
- Pentachlorobenzène : utilisé comme intermédiaire chimique et parfois comme pesticide
- Heptabromodiphényl éther : Retardateur de flamme utilisé dans les plastiques, les textiles et les produits électroniques
- Hexabromocyclododécane (HBCD) : Utilisé comme retardateur de flamme dans les matériaux de construction, les textiles et les appareils électroniques
- Hexabromodiphényl éther (groupe) : retardateur de flamme similaire à d'autres polybromodiphényléthers, utilisé dans divers produits de consommation pour réduire l'inflammabilité
- Pentabromodiphényl éther (groupe) : utilisé comme retardateur de flamme dans les produits électroniques, les meubles et les textiles
- Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), ses sels et les composés apparentés au PFHxS : utilisés dans les produits résistants aux taches, à l'eau et à la graisse
- Naphtalènes Polychlorés : utilisés dans la fabrication de produits tels que les isolants électriques, les lubrifiants et les produits de préservation du bois
- Tétrabromodiphényl éther : utilisé comme retardateur de flamme dans les produits plastiques et textiles.

Focus sur les emballages et les déchets contaminés par des produits chimiques ou des pesticides pouvant contenir des POP

Concernant les emballages et contenants ayant été contaminés par des POP, peu de données chiffrées ont été identifiées à travers la littérature scientifique mais certaines études confirment que ce sujet, certes ponctuel, reste d'actualité et que ces éléments doivent être traités correctement.

En effet, l'étude de Eugene et al.¹⁶⁶ réalisée en 2016 auprès d'agriculteurs en Malawi identifie des pratiques créant des risques pour la population et l'émission de POP. Les conteneurs de POP après utilisation sont jetés dans les rivières, les décharges, ou jetés n'importe comment, ce qui constitue un problème de santé pour la population, y compris les enfants qui récupèrent les conteneurs dans les décharges pour un usage secondaire. En effet, Il a été observé que les enfants étaient principalement exposés par le biais de pesticides, d'insecticides et de conteneurs chimiques périmés et mal éliminés. L'étude a montré que la plupart des habitants de Ndirande utilisent des produits provenant de conteneurs de pesticides mal éliminés qui sont réutilisés pour emballer des aliments tels que des chips, de l'eau et de la thobwa (bière sucrée) qui sont vendus sur les marchés et le long des routes. Il faut aussi noter que certains sont étiquetés avec des instructions dans des langues inconnues, tandis que d'autres sont dépourvus d'instructions et de composition chimique, car ils sont censés avoir été reconditionnés pour convenir à la poche du consommateur.

¹⁶⁶ Prevalence of Persistent Organic Pollutants in Blantyre – Malawi, E. Makaya, V. Tanyanyiwa, 2016

En outre, la combustion à l'air libre (dans des pays où la réglementation est plus laxiste ou dans des décharges sauvages) de ces produits n'est pas sans émettre elle aussi des POP dans l'atmosphère. Les émissions provenant de la simulation de la combustion à l'air libre de conteneurs de pesticides agricoles usagés ont été échantillonnées dans l'étude de Gullett et al.¹⁶⁷ pour PCDD et PCDF et les HAP. Des conteneurs propres en polyéthylène haute densité (HDPE), des conteneurs contenant des traces de pesticides et des conteneurs triplement rincés ont été brûlés séparément dans une installation de combustion ouverte et leurs émissions ont été comparées. Les deux pesticides utilisés ont été sélectionnés pour leur utilisation courante, leur applicabilité aux récipients en HDPE et la présence de Cl dans leur composition : l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) et le 1-chloro-3-éthylamino-5-isopropylamino-2,4,6- triazine (atrazine).

Tableau 28 : Moyennes des concentrations des POP lors des émissions en air libre de différents contenants (NA = non applicable / NM = non mesuré / rsd = écart-type relatif, Stdev/Avg Conc, fraction / rpd = différence relative en pourcentage) (Gullett, B., 2012)

Pesticide/test condition	PCDD/PCDF (ng TEQ/kg C, ND = 0) Mean (rsd/rpd, N)	PCDD/PCDF (ng/kg C ND = 0) Mean (rsd/rpd, N)	Total 16 PAHs (mg/kg C, ND = 0) Mean (stdv or rpd, N)
Clean HDPE	3.0 (0.68, 3)	720 (130, 3)	5.6 (0.2, 3 [*])
2,4-D/unrinsed	17. (0.60, 2)	95,000 (12, 2)	4.6 (23,2)
2,4-D/rinsed	4.2 (0.28, 2)	1,500 (10, 2)	2.1 (2.3,2)
Atrazine/unrinsed	0.23 (0.88, 2)	380 (25,2)	1.75 (26, 2)
Atrazine/rinsed	0.73 (0.16, 2)	1200 (8, 2)	2.95 (45,2)
Pre-test blank	0.00 (NA, 1)	5 (NA, 1)	NM
Post-test blank	0.00 (NA, 1)	11 (NA, 1)	NM

Les facteurs d'émission de PCDD/PCDF allaient de 0,1 à 24 ng d'équivalents toxiques (TEQ)/kg C brûlé, avec une moyenne et une médiane de 4,9 et 1,9 ng TEQ/kg C brûlé, respectivement. Dans un nombre limité d'essais, la trace de 2,4-D dans le conteneur HDPE a conduit à une augmentation statistiquement significative de la formation de PCDD/PCDF par rapport à toutes les autres conditions. L'atrazine résiduelle n'a pas conduit à plus de PCDD/PCDF que le récipient de 2,4-D non rincé.

Tableau 29 : Moyennes des concentrations des HAP lors des émissions en air libre de différents contenants (Gullett, B., 2012)

PAH	Clean HDPE		2,4-D/unrinsed		2,4-D/rinsed		Atrazine/unrinsed		Atrazine/rinsed	
	Avg conc (mg/kg C)	rsd	Avg conc (mg/kg C)	rpd	Avg conc (mg/kg C)	rpd	Avg conc (mg/kg C)	rpd	Avg conc (mg/kg C)	rpd
Naphthalene	2.935	0.19	2.488	0.17	1.143	0.14	1.077	0.18	1.688	0.46
Acenaphthylene	1.104	0.30	0.993	0.16	0.354	0.08	0.320	0.05	0.623	0.26
Acenaphthene	0.020	0.34	0.015	0.00	0.012	0.00	0.012	0.00	0.013	0.00
Fluorene	0.236	0.16	0.170	0.05	0.078	0.00	0.063	0.01	0.120	0.04
Phenanthrene	0.594	0.28	0.473	0.18	0.298	0.11	0.162	0.05	0.246	0.05
Anthracene	0.036	0.98	0.033	0.01	0.019	0.01	0.006	0.00	0.016	0.01
Fluoranthene	0.093	0.16	0.067	0.03	0.066	0.04	0.027	0.01	0.052	0.02
Pyrene	0.097	0.19	0.067	0.02	0.054	0.03	0.015	0.01	0.049	0.01
Benzo(a)anthracene	0.054	0.32	0.026	0.01	0.012	0.00	0.006	0.00	0.013	0.01
Chrysene	0.051	0.36	0.023	0.01	0.012	0.00	0.006	0.00	0.010	0.01
Benzo(b)fluoranthene	0.074	0.32	0.056	0.02	0.015	0.00	0.009	0.00	0.023	0.02
Benzo(k)fluoranthene	0.028	0.35	0.019	0.01	0.006	0.00	0.006	0.00	0.010	0.01
Benzo(a)pyrene	0.074	0.32	0.052	0.03	0.015	0.00	0.009	0.00	0.023	0.02
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.087	0.32	0.064	0.03	0.015	0.00	0.012	0.00	0.029	0.02
Dibenz(a,h)anthracene	0.007	0.08	0.005	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.002	0.00
Benzo(ghi)perylene	0.087	0.32	0.064	0.03	0.015	0.00	0.015	0.01	0.033	0.01

Les facteurs d'émission de HAP totaux (16 composés) variaient de 1,5 à 6,7 mg/kg C brûlé. Ces données suggèrent que le rinçage des conteneurs avant le brûlage réduit les émissions de PCDD/PCDF et de HAP et montrent qu'il est important de contrôler la collecte de ces contenants.

En France, un entretien réalisé avec une personne travaillant chez Sêché Environnement a permis de mettre en avant l'enjeu de garder la possibilité de traiter ces contenants. En effet, chaque année le groupe reçoit des contenants de pesticides, identifiés comme déchet POP car ils ont été au contact de pesticides. Ils sont ainsi traités sur leur site et incinérés en même temps que les pesticides. Ce site peut recevoir des déchets de France, d'Europe et d'autres pays du monde qui ne peuvent pas gérer ces déchets. S'il est facile de caractériser et identifier les POP présents dans les déchets liquides suite aux

¹⁶⁷ Emissions from open burning of used agricultural pesticide containers, B. Gullett, D. Tabor, A. Touati, J. Kasai, N. Fitz, 2012

connaissances disponibles du liquide, des emballages ayant contenu des substances avec POP peuvent facilement ne pas être identifiés comme tels.

Aujourd'hui, l'ensemble des pesticides couverts par le règlement POP sont interdits d'utilisation en Union Européenne, ainsi les stocks ou réserves de ces éléments sont réduits et devraient, à termes, être amenés à disparaître.

Les études identifiées portées principalement sur les contenants de pesticides mais les enjeux et problématiques sont identiques pour les contenants de substances chimiques comme les huiles, les lubrifiants ou des vernis, incluant des POP.

Les bateaux

Aucune donnée chiffrée n'est disponible quant à la teneur en POP dans les bateaux ni d'identification des éléments pouvant en contenir. Il est néanmoins possible de noter que les peintures utilisées sur les bateaux peuvent contenir du PFOA et du PCCC, tandis que les huiles peuvent également contenir du PCCC. Certains textiles utilisés à l'intérieur du bateau peuvent également être imprégnés avec des retardateurs de flammes classifiés en tant que POP. Des mesures réalisées sur des sites de démantèlement de bateau présentent des concentrations significatives en HAP, PCCC et PCB dans l'air.

3.1.2.7 Focus sur le bois, les déchets produits à partir de bois et certains matériaux de construction pouvant contenir des POP

La présence de POP au sein d'une espèce d'arbre et de l'air ambiant

Une étude de Siddik Cindoruk et al¹⁶⁸. examine les niveaux de POP dans les composants du pin (aiguilles et branches) et dans l'air ambiant, sur une période allant de janvier à décembre 2016 à Gemlik, en Turquie. Les principaux polluants étudiés sont les HAP, les PCB et les pesticides organochlorés (OCPs).

Les concentrations de HAP et de PCB étaient généralement plus élevées dans les aiguilles que dans les branches, probablement en raison des surfaces cireuses des aiguilles favorisant l'accumulation des polluants. Les composés HAP de poids moléculaire moyen et léger étaient dominants, tandis que les congénères PCB de poids moléculaire moyen étaient les plus prédominants. Cette étude démontre que les composants de pin peuvent être utilisés efficacement comme bioindicateurs pour surveiller les niveaux de POP dans l'air ambiant, mais elle démontre aussi que, des éléments comme les aiguilles et les branches, peuvent contenir des POP via une contamination aérienne.

Le bois dans les matériaux de construction

Les dioxines et furanes sont produits involontairement lors de la combustion de matériaux contenant du chlore dans des feux domestiques ou industriels dans des conditions non contrôlées¹⁶⁹ ¹⁷⁰. La combustion incomplète du bois, ayant préalablement subi un ou plusieurs traitements comme l'ajout d'additifs, de peintures ou de vernis, est aussi source d'émission de HAP¹⁷¹. En France, ces fumées font l'objet de traitements par des installations spécialisées visant à réduire au maximum les émissions dans l'atmosphère. Toutefois, bien que les systèmes de filtration et de dépollution réduisent considérablement les rejets de composés nocifs, il est possible que de faibles quantités résiduelles persistent et soient émises. De plus, certaines sources non contrôlées, telles que les brûlages sauvages, échappent à ces dispositifs et peuvent contribuer à des émissions non mesurées.

L'étude intitulée "*Emissions of toxic pollutants from co-combustion of demolition and construction wood and household waste fuel blends*"¹⁷² explore les émissions de polluants toxiques lors de la combustion

¹⁶⁸ Levels of persistent organic pollutants in pine tree components and ambient air, S. Siddik Cindoruk, AE. Sakin, Y. tasdemir, 2020

¹⁶⁹ Que sait-on sur les émissions de dioxines et furanes bromés ?, Ineris, 2020

¹⁷⁰ Fate of metals and emissions of organic pollutants from torrefaction of waste wood, MSW, and RDF, M. Edo, N. Skoglund, Q. Gao, P.-E. Persson, S. Jansson, 2017

¹⁷¹ Combustion of furniture wood waste and solid wood: Kinetic study and evolution of pollutants, A. Moreno, R. Font, J. A. Conesa, 2017

¹⁷² Emissions of toxic pollutants from co-combustion of demolition and construction wood and household waste fuel blends, M. Edo, N. Ortuño, P.-E. Persson, J. A. Conesa, S. Jansson, 2018

de mélanges de bois de démolition/construction et de déchets ménagers dans un poêle à pellets domestique. Voici un résumé des principales conclusions concernant les substances émises :

- Les combustibles à base de bois de tige combinés avec des déchets ménagers ont généré des émissions élevées de HAP, atteignant 32 ± 3.8 mg/kg de combustible. Le naphtalène constituait environ 50 % des émissions totales de HAP.
- Les émissions de chlorobenzènes ont augmenté de 20 mg/kg de combustible pour le bois de tige à 35 mg/kg lorsque des déchets ménagers ont été ajoutés. Les mélanges à base de bois de démolition/construction ont montré des émissions beaucoup plus élevées de chlorobenzènes, atteignant jusqu'à 291 mg/kg de combustible.
- Les émissions de chlorophènes ont également augmenté de manière significative, passant de 20 mg/kg pour le bois de tige à 725 mg/kg avec les déchets ménagers, et encore plus élevées pour les mélanges à base de bois de démolition/construction, atteignant 1478 mg/kg de combustible.
- Les émissions totales de PCB variaient de 5.3 à 13.3 mg/kg de combustible. Les mélanges à base de bois de démolition/construction produisaient les émissions les plus élevées, avec une moyenne de 10.6 ± 2.4 mg/kg de combustible. Les émissions équivalentes toxiques des PCB étaient considérablement plus élevées pour les mélanges à base de bois de démolition/construction, atteignant 9.6 ± 4.5 ng WHO2005-TEQ/kg de combustible.
- Les émissions totales de PCDD et de PCDF variaient de 2.2 mg/kg de combustible pour le bois de tige à 96 mg/kg pour le mélange de bois de démolition/construction. Les mélanges à base de bois de démolition/construction étaient particulièrement efficaces pour favoriser la formation de ces composés toxiques, principalement en raison de la présence de chlore, de cuivre et de fer dans le combustible.

Les résultats montrent que l'utilisation de bois de démolition et de construction lors de la combustion de mélanges de bois et de déchets ménagers dans un poêle à pellets domestique augmente significativement les émissions de POP, en particulier les PCDD, les PCDF et les PCB. Ces émissions peuvent aussi être attribuées à la présence de contaminants dans le bois de démolition, tels que des morceaux de métal, des plastiques et du bois traité avec des conservateurs comme le pentachlorophénol (PCP). Il est suggéré que le prétraitement du bois de démolition pourrait réduire ces émissions de POP, offrant ainsi des avantages environnementaux considérables, cependant avec l'effet de transfert d'impact, soit l'impact associé au traitement, il faudrait une analyse poussée pour s'assurer qu'il n'y a pas réellement d'impact environnemental.

En outre, dans le secteur du bois, sont souvent mélangés les éléments d'ameublement et autres déchets produits lors de la déconstruction. Il n'a pas été possible d'identifier de source couvrant l'ensemble des POP potentiels parmi la diversité de produits concernés. L'étude *Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes* (2016), analyse parmi ses 126 échantillons (comprenant entre autres des panneaux de bois, des matériaux d'isolation, des mousses de montage et d'étanchéité, des matériaux de façade, du polystyrène, etc.), la présence de deux classes de PFAA (PFSA et PFCA). Si ces substances sont des PFAS, il faut bien garder en tête que les PFAS ne sont pas tous classés POP (seulement 4 à ce jour). Les PFAA ont été détectées dans quasiment tous les échantillons (88 %), et plus particulièrement le PFOS (64 % des échantillons), qui sont des substances POP. Les matériaux en bois et les matériaux de façade ont des teneurs en PFAA variables, avec des médianes respectives à environ 5 et 0.6 µg /kg, principalement du PFOS. Au contraire, les matériaux d'isolation contiennent principalement du PFHpA.

Tableau 30 : Comparaison de la concentration des PFAA dans différents matériaux notamment du bâtiment (Becanova, J., 2016¹⁷³)

Table 1. Comparison of Σ_{15} PFAA concentrations within four categories of materials.

Category	Group	n _{total} ^a (n _{positive})	min - max (median) ^b μgkg^{-1}	Intra-category Kruskal-Wallis test ^c
Household equipment	Textile	1A 23 (19)	<MQL ^d - 77.6 (1.15)	n.s.
	Floor covering	1B 9 (9)	0.310–38.4 (2.09)	n.s.
	EEE	1C 18 (16)	<MQL - 11.7 (0.384)	n.s.
	Plastics	1D 4 (3)	<MQL - 0.384 (0.029)	n.s.
Building materials	OSB and wood	2A 14 (14)	1.39–18.3 (4.87)	*(2C, 2E, 2F)
	Insulation materials	2B 16 (16)	0.068–34.3 (3.55)	*(2E)
	Mounting and sealing foam	2C 6 (4)	<MQL - 1.28 (0.230)	*(2A)
	Facade materials	2D 8 (6)	0–24.5 (0.618)	n.s.
	Polystyrene	2E 5 (1)	<MQL - 0.18 (0.00)	*(2A, 2B)
	Air conditioning	2F 5 (5)	0.057–0.295 (0.135)	*(2A)
Car interior materials	–	3 10 (10)	0.033–35.5 (1.34)	n.a.
WEEE	–	4 7 (7)	0.046–2.20 (1.42)	n.a.

Autres matériaux de construction

Pour compléter sur les éléments de construction, s'il est compliqué d'identifier clairement les déchets contenant des POP dans le secteur du bâtiment, il est toutefois possible de lister plusieurs substances classées comme POP présentes dans les matériaux de construction et autres éléments liés à ce domaine. Ces POP sont principalement :

- PBDE et d'autres retardateurs de flamme bromés : ils sont utilisés pour traiter les matériaux de construction et les textiles afin de réduire le risque d'incendie.
- PFOS et ses dérivés : utilisés dans divers produits comme les mousses de lutte contre l'incendie, leur utilisation est maintenant très réglementée.
- PFOA et ses composés apparentés : ils sont utilisés dans des applications résistantes à la chaleur et aux produits chimiques dans le bâtiment.

L'étude de Vencosky¹⁷⁴ permet d'identifier certains POP présents dans les déchets de construction et de démolition. Chaque année, les déchets de construction et de démolition génèrent environ 930 000 tonnes de matériaux contenant des PCB. La concentration de PCB dans ces déchets varie largement, affichant des valeurs généralement très faibles dans l'ensemble du flux.

D'autres types de matériaux comme les mastics, colles, matériaux de toiture, fibre de verre en polypropylène, adhésifs, revêtements et résines époxy sont également concernés. Bien que les données annuelles sur le tonnage de ces matériaux ne soient pas disponibles, les concentrations de PBDE dans ces produits peuvent atteindre jusqu'à 625 000 mg/kg dans les produits testés. Comme vu précédemment, il s'agit a priori du plastique utilisé comme isolant de câbles électriques, et n'est pas généralisable aux autres matériaux utilisés dans la construction.

¹⁷³ Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes, J. Becanova, L. Melymuk, Š. Vojta, K. Komprdová, J. Klánová, 2016

¹⁷⁴ Study to support the assessment of impacts associated with the review of limit values in waste for POPs listed in Annexes IV and V of Regulation (EU) 2019/1021, D. Vencosky, 2021

- Pour ce qui est des matériaux classiques, les concentrations s'échelonnent de 0,01 mg/kg à 6 135 mg/kg pour les bétons, briques, tuiles et céramiques.
- Des concentrations maximales ont été mesurées jusqu'à 147 300 mg/kg pour certains matériaux isolants.
- Les sols et pierres excavés montrent des concentrations typiques de 5 mg/kg, avec seulement 5 % contaminés.

Quant à eux, les matériaux comme les joints, les revêtements de sol et les unités de vitrage contenant des PCB peuvent présenter des concentrations allant de 0,9 à 29 460 mg/kg.

Des fractions de déchets du bâtiment destiné à être réutilisés ont également été analysées et montrent une concentration moyenne de 0,027 mg/kg, atteignant parfois jusqu'à 0,7 mg/kg dans certains cas. Ces données mettent en évidence la variabilité des concentrations de PCB dans ces déchets de construction et de démolition.

La gestion de ces POP dans le secteur du bâtiment nécessite des précautions particulières, notamment l'élimination et le recyclage sécurisés des matériaux pour éviter la libération de ces substances toxiques dans l'environnement.

3.1.2.8 Autres recherches effectuées

Au cours des entretiens réalisés et des recherches effectuées, certaines catégories de produits et déchets sont actuellement exemptes de Polluants Organiques Persistants (POP), et les probabilités qu'elles en contiennent dans le futur sont considérées comme faibles en raison des réglementations strictes et des pratiques de fabrication. Voici une présentation de certaines de ces catégories de produits qui ont pu être identifiées :

- Articles pyrotechniques : ces produits fortement réglementés, contenant des substances contrôlées et disponibles par le metteur en marché, sont forcément incinérés et traités en déchets dangereux. Toute modification de leur composition nécessite 5 à 8 ans de tests obligatoires pour garantir leur conformité et sécurité.
- Au sein des DEEE : les gros équipements électroménagers, les équipements d'échange thermique et les lampes sont a priori exempts de POP en dehors des plastiques bromés, déjà bien réglementés et suivis.
- Articles d'ameublement : la décoration textile, et plusieurs autres mobiliers standards sont peu susceptibles d'en contenir ; des études sont en cours pour vérifier cette assertion.
- Textiles et chaussures : les produits textiles issus de sources biologiques comme le coton ne sont pas en contact de POP et n'en intègrent pas dans leur production

Une autre recherche intéressante de mentionner est l'effet « cocktail » des polluants, une problématique de plus en plus préoccupante dans le domaine de la santé publique et de l'écotoxicologie. Cet effet désigne l'interaction complexe entre différentes substances chimiques présentes dans l'environnement, dont l'impact combiné peut être plus néfaste que la somme des effets individuels. La non prise en compte de cet effet cocktail est une limite identifiée de la littérature sur la gestion des POP et des chercheurs¹⁷⁵ estiment que des études portant sur les effets combinés de plusieurs POP devraient être mises en œuvre car leurs données motivent la réalisation d'autres études expérimentales et d'observation sur les poissons afin de définir des niveaux de référence adéquats pour l'exposition humaine cumulative et le rôle potentiel de ces contaminants pour la sécurité alimentaire. L'étude de McComb et al.¹⁷⁶, sur les niveaux d'exposition à des mélanges de POP dans le sang humain contrarient la transactivation et la translocation du récepteur des androgènes, montre par exemple des preuves de l'effet cocktail. En effet, les composés individuels et/ou les mélanges peuvent ne pas avoir d'effet perturbateur sur le système endocrinien, mais l'effet combinatoire de mélanges spécifiques peut entraîner un effet perturbateur sur le système endocrinien. Ce sujet serait donc à creuser par la suite.

¹⁷⁵ Persistent organic pollutants in fish: biomonitoring and cocktail effect with implications for food safety, S. Panseri, L. Chiesa, G. Ghisleni, G. Marano, P. Boracchi, V. Ranghieri, R. M. Malandra, P. Roccabianca, M. Tecilla, 2019

¹⁷⁶ Human blood-based exposure levels of persistent organic pollutant (POP) mixtures antagonise androgen receptor transactivation and translocation, J. McComb, I.G. Mills, M. Muller, H.F. Berntsen, K.E. Zimmer, E. Ropstad, S. Verhaegen, L. Connolly, 2019

3.2 Analyse historique et prospective des flux des produits/déchets

3.2.1 Méthodologie employée

L'objectif de cette partie est d'obtenir une tendance générale historique et prospective pour chaque flux de produits/déchets contenant des POP.

Les produits et déchets dangereux, y compris ceux contenant des POP, sont déclarés administrativement et tracés par l'outil Trackdéchets en France. Néanmoins, existant depuis 2020, cet outil ne permet pas de collecter des données de manière statistique sur les tonnages concernés et les substances contenues dans ces déchets en fonction de leur nature. Il s'est donc avéré non utilisable pour notre étude.

Une approche macroscopique a donc été adoptée afin d'estimer les quantités de POP présents dans les flux de déchets actuels en France, mais aussi d'intégrer une vision historique et prospective du gisement de POP dans les déchets lorsque les données recueillies le permettaient. Ainsi, une méthodologie centrée sur l'analyse **des données issues des filières à responsabilité élargie du producteur (REP)** a été utilisée.

Les filières REP en France jouent un rôle essentiel dans la gestion des déchets, dont nombreux sont susceptibles de contenir des POP. Aborder la gestion des déchets par l'aspect des filières REP permet de s'assurer d'avoir une vision sur l'ensemble de la chaîne de valeur d'un produit et d'intégrer dans les réflexions l'ensemble des enjeux. D'ailleurs, de nombreuses REP traitent de produits contenant ou ayant contenus des POP, ce qui montrent la diversité de filières possiblement impactées par cette problématique. Cependant, il existe des déchets contenant des POP qui ne sont pas couverts par les filières REP existantes. Par exemple, certains équipements ménagers pouvant en contenir tels que les poêles en Téflon, les produits agricoles tels que les pesticides (par contre, les emballages des pesticides sont bien couverts) ou certains matériaux de construction comme les produits professionnels de préservation du bois ou les mousses utilisées pour éteindre des incendies peuvent également contenir des POP. Cependant, même les produits théoriquement couverts par une filière REP peuvent échapper aux mécanismes classiques de collecte et de traitement prévus et nécessitent des mesures de gestion spécifiques pour prévenir la contamination environnementale. La surveillance et l'extension des précautions pour inclure tous les produits susceptibles de contenir des POP sont essentielles pour améliorer la gestion de ces substances dangereuses et protéger la santé publique et l'environnement.

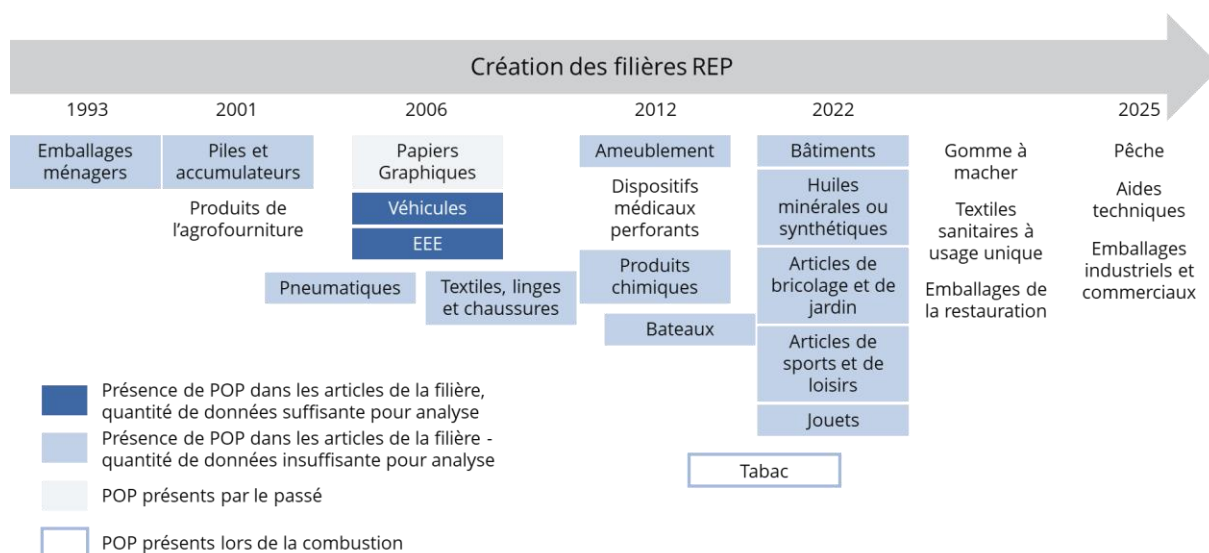


Figure 19 : Présence d'éléments contenant des POP dans les filières REP françaises (RECORD, 2024)

Une matrice Excel a été développée afin de collecter les informations disponibles par filière REP depuis les bases de données de l'ADEME (flux nationaux). Les valeurs des quantités mises sur le marché des produits (unités et tonnes) ainsi que des déchets collectés (unités et tonnes) historiques ont été récupérées lorsque les données étaient disponibles (voir le schéma des flux en Figure 20). La qualité et le niveau de précision des données dépendent de la maturité de la filière REP. Cependant, les teneurs en POP retrouvés dans ces flux de déchets ne sont pas systématiquement collectées dans le cadre des filières REP. Ainsi, les recherches bibliographiques réalisées et présentées précédemment ont été utilisés afin d'évaluer les concentrations de POP théoriquement présents dans les déchets considérés et donc estimer les volumes de gisements POP dans les déchets.

Il s'agit donc ici, en l'absence de données publiques, d'une extrapolation des quantités de POP présents dans les déchets (ordres de grandeur), avec toutes les limitations que cela implique : utilisation de données issues de la littérature, pas forcément représentatives de la réalité car obtenues sur des échantillons isolés.

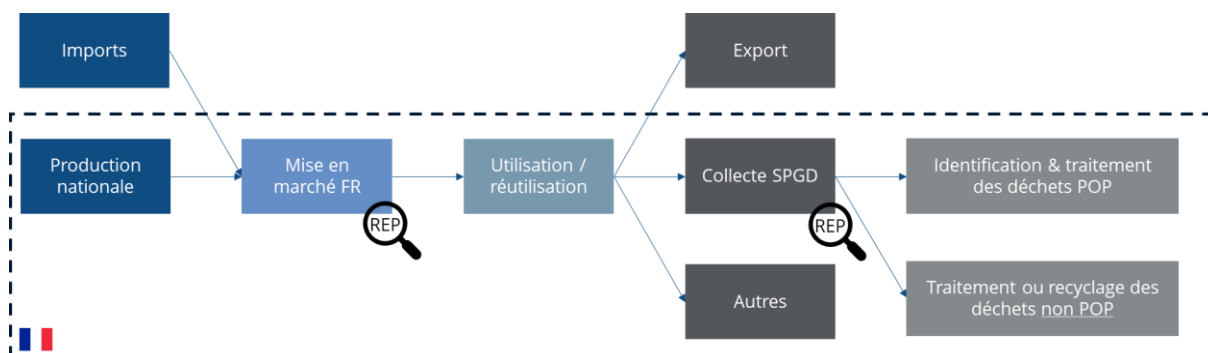


Figure 20 : Modélisation des flux de produits contenant des POP et couverts par une filière REP (RECORD, 2024)

À noter que certains produits contenant des POP ne sont pas nécessairement collectés en fin de vie en France, notamment parce qu'ils ont été exportés au préalable. Ces déchets ne sont pas pris en compte dans la modélisation, car ils ne peuvent être estimés avec précision.

3.2.2 Analyse matière des flux des produits/déchets futurs intégrant les POP

Faute de données disponibles, cette section ne couvre que les DEEE et VHU.

3.2.2.1 Focus sur les DEEE

L'évolution des mises sur le marché des EEE tracée en Figure 21 à partir des données publiées par l'ADEME¹⁷⁷, montre une augmentation du nombre d'équipements mis sur le marché au cours du temps, ainsi qu'une hausse du tonnage total. La hausse est plus grande en unités qu'en tonnage. D'après les auteurs du rapport ADEME, cela s'explique par la miniaturisation des équipements, l'augmentation de la demande de petits appareils, l'utilisation de matériaux plus légers ainsi que par l'arrivée de nouveaux petits équipements dans la filière professionnelle (câbles, interrupteurs, prises, etc.).

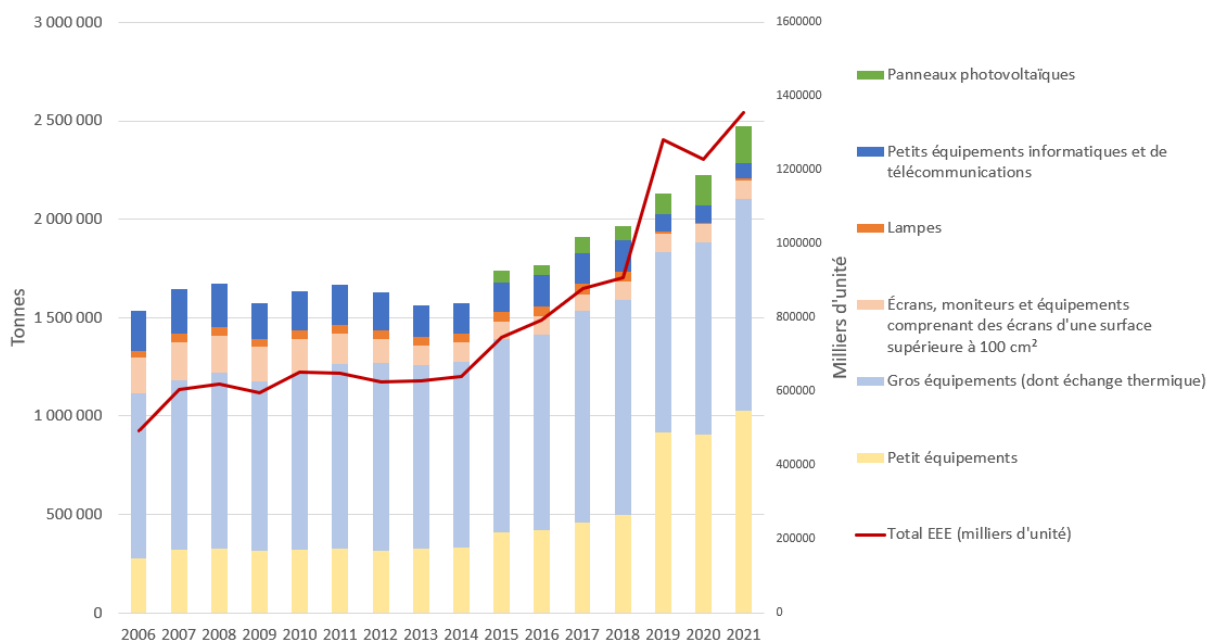


Figure 21 : Évolution historique des mises sur le marché des EEE selon la catégorie (en tonnes) et tous équipements confondus (milliers d'unité) (compilation RECORD, 2024) (ADEME)

¹⁷⁷ Rapport annuel sur les données des équipements électriques et électroniques, ADEME, 2021

L'évolution des collectes a également été tracée à partir des données du rapport ADEME¹⁷⁷. Les résultats sont présentés dans Figure 22. Depuis 2006, la collecte s'intensifie d'années en années, avec environ 8 % d'augmentation annuelle en moyenne sur ces 10 dernières années. Cela s'explique par une intensification des efforts de collecte des éco-organismes, l'augmentation des points de collecte et leur sécurisation.

À noter que la nomenclature des catégories a changé en 2018. Ainsi, une correspondance¹⁷⁸ a été effectuée entre les anciennes et les nouvelles catégories afin de pouvoir modéliser les flux de manière continue. Le niveau de précision des données ne permet pas de faire correspondre précisément le périmètre, en particulier pour reconstruire l'ensemble du périmètre des petits équipements défini à partir de 2019 avec les anciennes catégories.

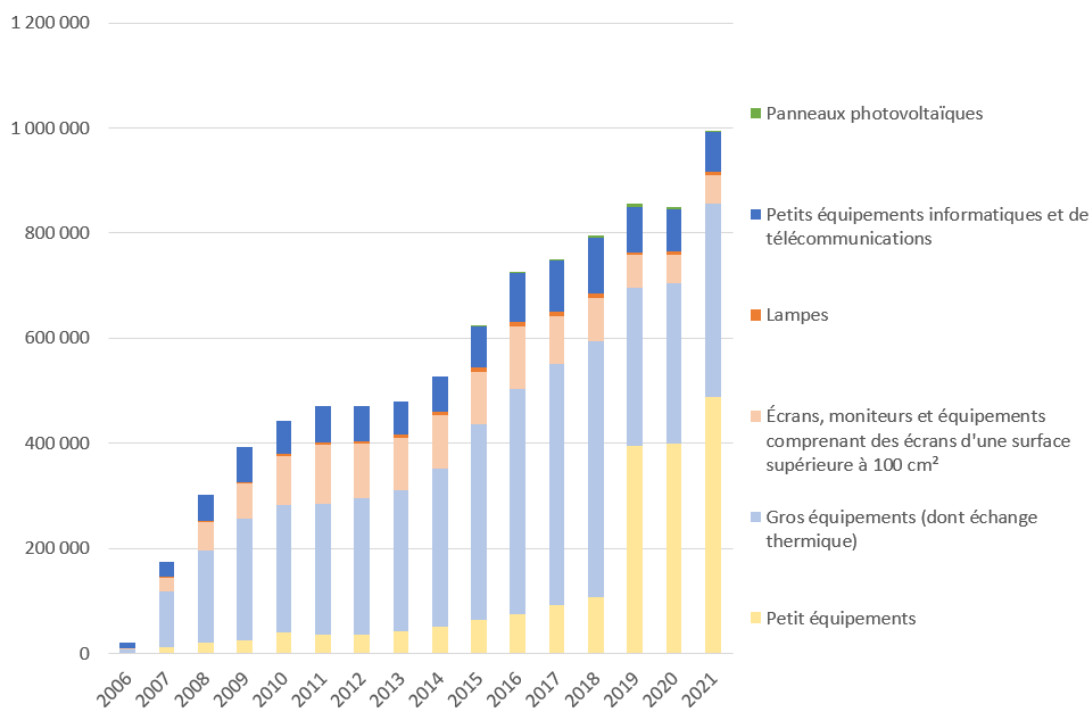


Figure 22 : Évolution historique de la collecte des DEEE en tonnes (compilation RECORD, 2024) (ADEME)

Le Tableau 31 permet d'obtenir une première estimation des teneurs en POP pour chaque catégorie de DEEE et pour tous les DEEE confondus. Ces résultats sont obtenus sur la base de moyennes pondérées entre des données qui sont elles-mêmes des moyennes pondérées issues de la littérature, et de campagnes d'échantillonnage (pour l'INERIS). Les moyennes calculées ne permettent pas d'avoir des valeurs précises utilisables en l'état, mais fournissent une analyse globale sur la base de résultats vérifiés.

Comme indiqué ci-dessus, les données historiques ne sont pas facilement exploitables du fait de l'hétérogénéité des échantillonnages réalisés dans les différentes études.

Sur la base des données de mise en marché et de collecte de 2021, une première estimation grossière des quantités de POP présents dans ces flux a été calculée. Les résultats sont indiqués dans le Tableau 31. Les flux de gros équipements et des équipements d'échange thermique étant regroupés dans un seul et même flux, l'estimation de quantité de POP a été calculée à partir de la moyenne des concentrations de ces deux catégories. Afin de simplifier la modélisation, étant donné que les écrans CRT ne sont plus mis en marché depuis de nombreuses années, leur flux a été considéré négligeable au sein des flux collectés. On considère que les teneurs en POP des EEE mis sur le marché et des

¹⁷⁸ La correspondance entre les anciennes et les nouvelles catégories EEE a été réalisée comme suit : Catégories 1 + 5 actuelles – Catégories 1 + 8 + 10 anciennes ; Catégorie 2 actuelle – Catégorie 4 ancienne ; Catégorie 3 actuelle – Catégorie 5 ancienne ; Catégorie 4 actuelle – Catégories 2 + 6 + 7 + 9 anciennes ; Catégorie 6 actuelle – Catégorie 3 ancienne ; Catégorie 7 actuelle – Catégorie 11 ancienne

DEEE collectés sont identiques. De plus, les quantités de POP incorporées dans les EEE évoluent au fil des années et en fonction de la réglementation, donc un DEEE collecté en 2021 et mis sur le marché dix ans auparavant n'a pas la même concentration en POP qu'un EEE mis sur le marché en 2021.

D'après ces calculs, les quantités de POP sont plus faibles pour le HBCD que pour les autres POP (pour les tonnages mis sur le marché et pour ceux collectés). Les quantités de POP issues des petits appareils sont les plus élevées en proportion.

La tendance à la hausse des quantités d'EEE mises en marché et l'augmentation des performances de collecte en réponse aux objectifs réglementaires importants laissent présager d'une augmentation des quantités de POP collectés dans les DEEE dans les dix prochaines années, même en cas de réduction des quantités dans les produits ou de substitution, étant donné la durée de vie relativement importante (5-10 ans) des équipements. En première approximation, il peut être considéré que le tonnage collecté en 2031 correspondra à environ 65% du tonnage mis en marché en 2021 (atteinte des performances de collecte actuellement fixées par la filière REP).

Tableau 31 : Synthèse des concentrations moyennes (ppm) en Br, décaBDE, PBDE et HBCD obtenues à partir des sources identifiées, pour les écrans CRT, les écrans plats, les gros équipements, les équipements d'échange thermique, les petits appareils et tous DEEE confondus (RECORD, 2024)

Teneur Catégorie	Br		décaBDE		PBDE		HBCD	
	moyenne	Robustesse	moyenne	Robustesse	moyenne	Robustesse	moyenne	Robustesse
Écrans CRT	11 000	Moyenne	2 000	Faible : 1 source (INERIS)	3 100	Moyenne	550	Faible : 1 source (INERIS)
Écrans plats	9 500	Moyenne	2 700	Faible : 1 source (INERIS)	2 500	Moyenne	20	Faible : 1 source (INERIS)
Gros équipement	1 300	Faible : 1 source (BSAF)	n.a.		300	Faible : 1 source (BSAF)	n.a.	Faible : 1 source (BSAF)
Équipement d'échange thermique	300	Faible : 1 source (BSAF)	n.a.		100	Faible : 1 source (BSAF)	n.a.	Faible : 1 source (BSAF)
Petits appareils	3 900	Faible : 1 source	400	Faible : 1 source (INERIS)	450	Faible	150	Faible
Tous DEEE	n.a.		5 200	Faible : 1 source (CE), tous DEEE confondus	2 700	Faible : 1 source (CE), tous DEEE confondus	140	Faible : 1 source (CE), tous DEEE confondus

Tableau 32 : Estimation des quantités (tonnes) de POP dans les mises en marché d'EEE et dans les DEEE collectés par catégorie pour le décaBDE, le PBDE et le HBCD (RECORD, 2024)

Produit- Futur déchet	Tonnage de POP dans les EEE mis sur le marché			Tonnage de POP dans les DEEE collectés		
	décaBDE	PBDE	HBCD	décaBDE	PBDE	HBCD
Gros équipements (dont échange thermique)	n.a.	215	n.a.	n.a.	73	n.a.
Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm ²	260	240	14	150	140	8
Lampes	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Petit appareils	420	500	170	215	260	80
Panneaux photovoltaïques	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

3.2.2.2 Focus sur les VHU

L'évolution des mises sur le marché des véhicules particuliers et utilitaires de moins de 3,5 tonnes, disponible en Figure 23, montre une évolution assez stable autour de 2 millions de véhicules neufs de particuliers et utilitaires depuis une dizaine d'année. En revanche, des évolutions importantes s'opèrent sur les types de véhicules vendus, avec une part de véhicules hybrides ou électriques progressant pour atteindre 36 % des mises en marché en 2021.

Comme vu en section 3.1.2.2, le recours au décaBDE était autorisé dans les étapes de fabrication des véhicule jusqu'au 15 juillet 2019.

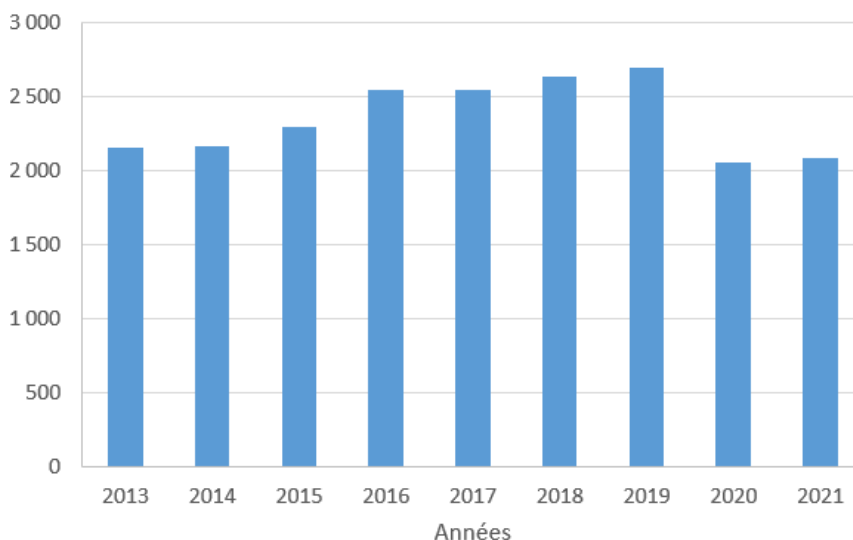


Figure 23 : Évolution historique du nombre de véhicules mis sur le marché (milliers d'unité) (compilation RECORD, 2024) (ADEME¹⁷⁹)

Concernant les VHU collectés, les données disponibles auprès de l'ADEME remontent à 2016. Les primes à la conversion avaient permis une forte prise en charge des VHU en 2018 et 2019, puis le COVID et la baisse des primes à la conversion avaient conduit à une baisse, puis légère amélioration en 2021.

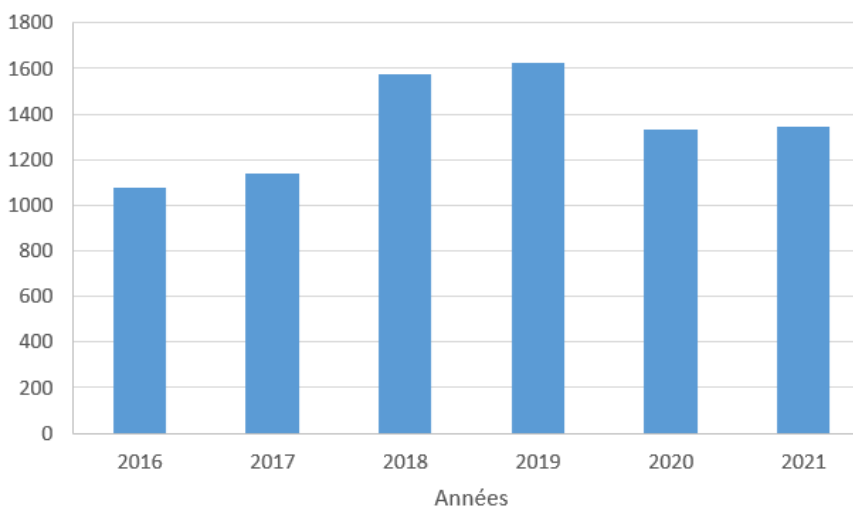


Figure 24 : Évolution historique du nombre de véhicules collectés (milliers d'unités) (compilation RECORD, 2024) (ADEME¹⁷⁹)

Comme évoqué dans la section précédente relative aux DEEE, les concentrations obtenues dans le Tableau 33 sont calculées sur la base de moyennes issues de la littérature. Elles sont à titre indicatif et donne un ordre de grandeur des teneurs qui pourraient être retrouvées dans les VHU.

¹⁷⁹ IEIC à partir des données du Rapport annuel Automobiles données 2021, ADEME, 2022

Sur la base des données de mise en marché et de collecte de 2021, une première estimation grossière des quantités de POP présents dans les flux de véhicules mis en marché et dans ceux collectés a été calculée. Les résultats sont indiqués dans le Tableau 34.

De même que pour les DEEE, ce calcul présente des limites significatives, en particulier pour l'estimation des POP dans les véhicules mis en marché : il est estimé que les véhicules personnels ont une durée de vie d'environ 20 ans, et l'évolution technologique sur cette période est particulièrement importante. Il n'est donc pas possible de se baser sur ces données pour projeter les tonnages de POP qui seront collectés dans les VHU dans 20 ans, car les teneurs en POP collectées ont été mesurées sur des VHU, donc des véhicules ayant en moyenne 20 ans.

Tableau 33 : Synthèse des concentrations moyennes (ppm) en DécaBDE et PBDE obtenues à partir des sources identifiées pour les VHU (RECORD, 2024)

Teneur	DécaBDE	Robustesse	HBCD	Robustesse
	moyenne		moyenne	
Véhicules particuliers, véhicules utilitaires, cyclomoteurs à 3 roues	3300	Moyenne	415	Moyenne

Tableau 34 : Estimation des quantités (tonnes) de POP dans les mises en marché de véhicules et dans les VHU collectés par catégorie pour le décaBDE, le PBDE et le HBCD (RECORD, 2024)

Catégorie	Produit-Futur déchet	Tonnage mis sur le marché	Tonnage collecté	Tonnage en POP mis sur le marché		Tonnage en POP collecté	
		2021		DécaBDE	HBCD	DécaBDE	HBCD
VHU	Véhicules particuliers, véhicules utilitaires, cyclomoteurs à 3 roues	2 373 494	1 527 515	7 833	985	5 041	634

3.2.3 Conclusion sur l'analyse historique et prospective des flux des produits/déchets

L'évaluation des flux de produits et de déchets contenant des POP (et de la quantité de POP contenue dans ces flux) reste incomplète et peu robuste en raison du manque de données disponibles. Cela s'explique notamment par la multitude des POP et des flux de déchets. Nos travaux nous amènent à identifier différentes limites et pistes de travail pour les limiter.

Organiser la remontée d'informations

Il serait intéressant de pouvoir compléter cette analyse dans quelques années lorsque de nouvelles études seront publiées, afin d'intégrer l'ensemble des produits et des équipements identifiés en section Inventaire des produits/futurs déchets contenant des POP et analyse des flux, afin d'avoir une vision globale des déchets nécessitant un traitement car contenant des POP, et de pouvoir comparer ce volume à celui effectivement répertorié comme traité en France par Trackdéchets. Pour cela, des **travaux complémentaires** seraient nécessaires de la part de différents acteurs concernés, afin de **collecter et retravailler des données confidentielles, ou bien non collectées à l'échelle nationale**. On pourrait par exemple envisager :

- D'ajouter au cahier des charges de filières REP la déclaration des quantités de déchets contenant des POP identifiés et traités ;
- De réaliser une étude dédiée à la collecte de données sur les flux entrants et sortants des installations de traitement, par exemple des broyeurs VHU et DEEE qui séparent les plastiques bromés des autres plastiques ;

- De modifier l'archivage des informations administratives par Trackdéchets afin de permettre l'accès direct aux quantités et natures des déchets dangereux déclarés.

L'analyse historique se heurte également à la durée de vie importante des produits contenant des POP et à l'absence de données historiques antérieurement à la mise en place des filières REP empêchant de remonter dans le temps pour comprendre quels POP étaient contenus dans les produits mis en marché historiquement, et qui se retrouvent aujourd'hui à l'état de déchets. La mise en place de nouvelles filières REP ces dernières années devrait contribuer à l'amélioration des connaissances pour ces flux.

Améliorer la fiabilité des données disponibles

Par ailleurs, bien que les filières REP DEEE et VHU disposent de suffisamment de données historiques et d'études complémentaires permettant de reconstruire ces flux par modélisation sur un périmètre restreint ; ces reconstructions ont néanmoins une fiabilité limitée en raison des données utilisées :

- **Biais d'échantillonnage** : La méthode d'échantillonnage impacte la teneur en POP mesurée : les analyses peuvent être délibérément réalisées sur des fractions de déchets identifiées comme fortement concentrées, et donc non représentative du flux entrant moyen. En particulier, les tonnages totaux utilisés couvrent également des matières non organiques, qui ne contiennent pas de POP (en particulier les métaux). Faute d'information sur la composition matière moyenne de ces produits, le tonnage de POP calculé est donc largement surestimé.
- **Prise en compte de flux non collectés, non exportés** : Les données utilisées sont celle sur la collecte effective, et excluent donc des flux de déchets présents en France mais non collectés (par exemple, car stockés chez les détenteurs). S'ils ne sont pas collectés, ils ne sont pas non plus disponibles pour un traitement adéquat des POP contenus. Pour les intégrer au calcul, il faudrait prendre en compte le gisement de déchets. Les enjeux relatifs à l'amélioration de la captation de ce gisement ne sont pas abordés dans cette étude, car elles sont de la responsabilité des filières REP correspondantes.
- **Périmètre géographique** : Les données de concentrations en POP dans les déchets (ou produits) sont presque toutes exclusivement issues de la littérature et ne sont donc pas forcément représentatives des flux nationaux réels.
- **Périmètre temporel** : Les données de teneur en POP ne sont pas suffisamment détaillées pour prendre en compte les évolutions temporelles dans la conception des produits.

Comme discuté précédemment, les teneurs en POP collectées dans le cadre de cette étude ne concernent pas systématiquement des déchets, et peuvent être réalisées sur des produits, et pourraient donc ne sont pas représentatifs des déchets actuellement collectés. Cet enjeu est particulièrement important pour les produits à longue durée de vie, où les modes de production ont pu évoluer au fil des années. Des données complémentaires seraient utiles pour éviter la dissémination de ces POP à l'heure où l'incorporation de matière recyclée dans les produits est de plus en plus encouragée (cf. la mise en place de primes pour le recyclé dans l'ameublement, soit à l'incorporation de matière recyclée pour le bois, les matières plastiques et les matériaux textiles prévus dans le cahier des charges d'agrément des éco-organismes dans l'arrêté du 12 octobre 2023¹⁸⁰).

Enfin, pour approfondir le sujet, il serait intéressant de faire ce même exercice de quantification pour d'autres types de substances dangereuses (non POP) présentes dans les déchets, afin de comparer l'importance relative des différents contaminants dans la gestion des déchets.

¹⁸⁰ https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000048219021

4 Étude prospective sur les POP encore non réglementés et pistes de réflexions pour la gestion des déchets POP

4.1 Identification des substances candidates pour être prochainement qualifiées de POP et des déchets potentiellement affectés

4.1.1 Cadre réglementaire de l'inclusion des POP

4.1.1.1 Processus d'intégration des POP : rappel

L'état de l'art détaillé de la réglementation actuelle concernant les substances POP a été présenté en partie 2.2.

Pour rappel, la France a ratifié la Convention de Stockholm et doit prendre en compte dans son cadre réglementaire toute nouvelle substance considérée comme POP par la convention.

L'inclusion d'une nouvelle substance à la liste des POP réglementés prend plusieurs années (environ 5 ans), depuis la présentation de la proposition d'inclusion jusqu'à la modification effective de la liste des POP. Le délai peut changer en fonction de la période de soumission des différents dossiers (proposition, descriptif des risques, évaluation de la gestion des risques) au Comité d'Étude des POP.

4.1.1.2 Étapes et critères relatifs à l'inclusion des substances dans la réglementation

Afin d'intégrer la convention de Stockholm, une substance doit passer par un processus précis et bien défini accessible en Figure 10. Pour préfigurer quelles seront les substances POP de demain, il est important de comprendre pourquoi les substances POP actuelles ont été définies comme telles, et quelle est la nature des acteurs impliqués.

Acteurs

- **Partie** : État ou organisation régionale d'intégration économique ayant consenti à être lié par la Convention, et pour lequel la Convention est en vigueur. L'Union Européenne est une Partie à part entière.
- **Conférences des Parties** : organe décisionnel composé de représentants de toutes les Parties. Elle décide du processus d'examen des inscriptions aux registres, et est en charge de mettre en place les procédures d'arbitrage et de conciliation afin de régir le règlement des différends qui pourraient survenir entre les Parties à la Convention.
- **Comité d'études des POP** : composé de spécialistes de l'évaluation ou de la gestion des substances chimiques désignés par les gouvernements. La Conférence des Parties décide de l'organisation et du fonctionnement du Comité, et nomme les membres sur la base d'une répartition géographique équitable.

Processus d'intégration

En premier lieu, toute Partie soumettant une **proposition d'inscription d'une substance chimique** aux annexes A, B et/ou C doit pouvoir identifier cette substance et fournir une proposition contenant un certain nombre d'informations. Ces critères de sélection sont énumérés dans l'annexe D de la convention comme suit :

- Persistance ;
- Bioaccumulation ;
- Potentiel de propagation à longue distance dans l'environnement ;
- Effets nocifs.

Une fois la proposition étudiée et acceptée par le Comité d'étude des POP, un groupe de travail du Comité se forme pour travailler sur la substance à l'étude, et regroupe un certain nombre d'informations listées en annexe E de la Convention, et requises pour l'élaboration du **dossier descriptif des risques**. L'objectif de ce dossier est de compléter les informations de l'annexe D en évaluant les effets nocifs importants sur la santé humaine et/ou l'environnement qui justifieraient l'adoption de mesures au niveau mondial. Les indications listées dans l'annexe E sont les suivantes :

- Sources de la substance : production, utilisation, dissémination sous forme de rejets, de pertes et d'émissions ;
- Évaluation du danger par rapport au(x) seuil(s) de préoccupations ;
- Devenir dans l'environnement, comprenant les données et informations sur les propriétés physiques et chimiques de la substance, ainsi que sa persistance/propagation dans l'environnement, son transfert dans et entre divers milieux, sa dégradation et sa transformation en d'autres substances ;
 - Facteurs de bioconcentration et de bioaccumulation sur la base de valeurs mesurées présentés ;
- Données de surveillance ;
- Exposition en des points déterminés ;
- Évaluations/descriptifs nationaux et internationaux des risques liés à l'étiquetage et la classification des dangers ;
- Statut de la substance par rapport aux conventions internationales.

Dans les faits, il ne semble pas y avoir de cadre précis pour la construction du dossier, qui puisse limiter le choix des études prises en compte comme preuve scientifique. Selon les dossiers, les données scientifiques apportées peuvent varier dans leur périmètre géographique, temporel, leur méthode d'évaluation (échantillonnage, protocole et techniques d'analyses, répétabilité, robustesse scientifique, etc.). Lors d'un entretien avec l'ECHA, il a été souligné que la qualité des dossiers en termes de représentativité des enjeux actuels est particulièrement élevée ces dernières années, et jugée suffisante. Ce n'est pas comparable à certains dossiers soumis par le passé, qui pouvaient se baser sur un nombre limité d'études, parfois très anciennes.

Rate of degradation in water

Table 4 Rate of degradation in water, laboratory studies

Water source	water	Half-life or DT ₅₀ (d)	Method of calculation	DT50 normalised to 12°C	χ ² -error	r ²	Application (µg/L)	Temperature (°C)	pH	Salinity (%)	Oxygen content (%)	Total organic Carbon (mg/L)	Reference	remarks	
Fröschweiler pond, Möhlin AG/Switzerland	pond	46 d	SFO	124.4 d	5.84	0.8851	12.1	22.5°C	7.89	-/-	7.62	13.60	Gassen, 2015	High losses due to volatilisation, underestimation of DT50 values	
	pond	21 d	SFO	56.8 d	7.51	0.9468	126	22.5°C	7.89	-/-	7.62	13.60			
Biederthal, France	Pond	2.78	FOMC	6.8 d	-	0.9804	100.0	21.5 ± 0.2 °C	8.08	-/-	9.70	10.64	Caviezel, 2015	High losses due to volatilisation (high dose: 64.5 % AR, sterile: 62.3 % AR, low dose 58.6 % AR): underestimation of DT50 values	
	Pond, sterile	2.92	FOMC	7.2 d	-	0.9783	100.0	21.5 ± 0.2 °C	8.08	-/-	9.70	10.64			
	Pond	2.98	FOMC	7.3 d	-	0.9510	10.0	21.5 ± 0.2 °C	8.08	-/-	9.70	10.64			
Ynys Tachwedd, nr Borth, Ceredigion, Wales	Estuarine	45 d	SFO	59.8 d	-	0.935	40	15 °C	7.79	17	110	589.5	Swales, 2003	High losses due to volatilisation (mass balance declining to 75.8 % AR (15°C water), 81 % AR (12°C water) and 89 % AR (8°C water)), no traps used. Underestimation of DT50 values	
	Borth Sands, Ceredigion, Wales	Coastal	35 d	SFO	35 d	-	0.883	40	12°C	7.83	36	114			812.9
	> 5 miles off shore from Plymouth, Devon, England	Open Sea water	75 d	SFO	51.3 d	-	0.850	40	8°C	8.06	38	112			645.3

Figure 25 : Exemple d'analyse des taux de dégradation dans l'eau de la substance candidate POP chlorpyrifos, tiré du descriptif des risques (ECHA)

Enfin, après validation du dossier de descriptif des risques par le comité d'étude des POP, le **dossier d'évaluation de la gestion des risques** doit également être soumis à analyse par le groupe de travail. Ce dernier vise à collecter des informations sur les solutions de gestion des risques, sur les solutions de remplacement, sur les considérations socio-économiques et sur la portée des éventuelles mesures de réglementation de substances chimiques telle que définie à l'annexe F de la convention. Il convient au comité de tenir compte des éléments suivants :

- Efficacité des éventuelles mesures de réglementation pour répondre aux objectifs de réduction des risques (faisabilité technique et coûts) ;
- Autres solutions alternatives (produits et procédés) ;

- Incidences positives et/ou négatives sur la société de l'application d'éventuelles mesures de réglementation ;
- Conséquences de la gestion des déchets (collecte, traitement, faisabilité technique, coût) ;
- Accès à l'information et éducation du public ;
- État des moyens de contrôle et de surveillance ;
- Toute mesure nationale ou régionale de réglementation adoptée.

Substance	CAS No.	Application	Purpose of use	Economic s	Feasibility	Hazards and limitations	Reference
LCCPs	85535-86-0	PVC and polymers, paint, sealants, adhesives, leather fat liquors	Plasticiser, flame-retardant (at high Cl content)	Slightly higher cost compared to MCCPs	Can be used in some applications	Potentially persistent and accumulative May lead to brittleness in polymer	Danish EPA 2014
Chlorinated methyl esters	Multiple (95009-45-3)	PVC and polymers, metal working fluids	Plasticiser, flame-retardant		More research needed	No notified hazards under EU REACH	Weingart 2018, ECHA infocard
diisodecyl phthalate (DIDP)	68515-49-1	PVC and polymers, paints and sealants (alternative for SCCPs but suggested for MCCPs)	Plasticiser	Potential increase of 40-60% as compared to MCCPs	Compatible in most applications MCCPs are used in	Restricted in entry 52 in Annex XVII EU REACH Will need companion flame-retardant.	Kemi 2019, Danish EPA 2014
diisononyl phthalate (DINP)	28553-12-0	PVC and polymers, paints and sealants (alternative for SCCPs but suggested for MCCPs)	Plasticiser	Potential increase of 40-60% as compared to MCCPs	Compatible in most applications MCCPs are used in	Restricted in entry 52 in Annex XVII EU REACH. Will need companion flame-retardant.	Kemi 2019, Danish EPA 2014
Di(2-ethylhexyl)terephthalate (DEHT)	6422-86-2	PVC and polymers, sealants, paints and coatings	Plasticiser		Compatible in some formulation	No flame-retardant properties	Danish EPA 2014

Figure 26 : Exemple d'un extrait tableau récapitulant les alternatives disponibles à la substance candidate POP paraffines chlorés chaînes moyennes (MCCP – C14-C17), tiré de l'évaluation de la gestion des risques (ECHA)

Une fois le dossier analysé et accepté par le comité, ce dernier propose des recommandations quant à l'inscription de la substance sur les listes de la réglementation POP. La conférence des Parties prend une décision relative à l'inclusion de la substance dans une des annexes de la convention de Stockholm. Enfin, la Commission européenne modifie les annexes du règlement POP afin qu'elles soient conformes à la convention.

À noter que les réunions de la conférence des Parties ont lieu tous les deux ans.

4.1.2 État d'avancement actuel et à venir

4.1.2.1 Substances POP actuelles

Comme énoncé précédemment, actuellement, 32 substances sont réglementées comme étant POP par la convention de Stockholm. Il y a eu au total **9 vagues d'admission** de POP réparties sur **neuf années** différentes (deux vagues d'admission ont eu lieu en 2020). Le nombre de POP admis chaque année est présenté ci-dessous :

- 2004 : 15 (PAHs, PCDD/PCDF, etc) ;
- 2010 : 6 (pentachlorobenzène, X-BDE, PFOS) ;
- 2012 : 4 (endosulfane, naphthalène, etc) ;
- 2016 : 1 (HBCDD) ;
- 2019 : 2 (bis-pentaBDE, pentachlorophénol : regroupe 15 substances) ;
- 2020 : 2 (PFOA, dicofol) ;
- 2022 : 1 (PFHxS),
- 2023 : 3 (Méthoxychlore, Déchlorane Plus, UV-328)

Ainsi, ces dernières années le nombre de substances inclus dans le règlement s'est stabilisé autour de 1 à 2 substances ou familles de substances proposée(s) par an. Il est important de noter que certaines catégories incluent un large éventail de substances, comme c'est le cas pour le PFOA, qui regroupe à lui seul un total de 174 substances différentes, ce qui peut grandement élargir le nombre de substances incluses dans le règlement.

4.1.2.2 Substances candidates POP, en cours d'analyse ou d'intégration au règlement POP

Actuellement, **4 substances** sont engagées dans le processus d'inclusion à la convention de Stockholm :

- La première substance est la famille des octaméthylcyclotérasiloxane (D4) – décaméthylcyclopentasiloxane (D5) – dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6), dont la proposition a été soumise en juin 2023, et est actuellement en attente de décision pour continuer la procédure.
- Les dossiers d'évaluation de la gestion des risques des 3 autres substances sont en cours de développement :
 - Paraffines chlorées chaînes moyennes (MCCP – C14-C17), les C14H24Cl6 et C17H29Cl7 (aussi nommée LCCP en anglais ou PCLC en Français) analogue à longue chaîne des PCCC (SCCP en anglais),
 - Utilisations : Les MCCP sont principalement utilisées comme plastifiants dans les matériaux plastiques (notamment le PVC) et comme retardateurs de flamme dans des produits tels que les câbles, les revêtements et les joints. Elles peuvent également être utilisées comme lubrifiants dans l'industrie des métaux.
 - Types de produits : Ils sont trouvés dans les matériaux de construction, les meubles, les textiles, les lubrifiants industriels, et certains équipements électroniques.
 - Acide carboxylique perfluorés (PFCAs) à longue chaînes (et leurs sels),
 - Utilisations : Les PFCAs à longues chaînes, tels que l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), sont utilisés pour leurs propriétés de résistance à la chaleur, à l'eau et aux taches. Ils servent dans la fabrication de revêtements antiadhésifs (comme dans les ustensiles de cuisine en téflon), ainsi que dans les mousses anti-incendie, les textiles, et les emballages alimentaires.
 - Types de produits : Ces substances sont présentes dans des produits tels que les revêtements textiles (pour rendre les vêtements résistants à l'eau ou aux taches), les revêtements de surfaces, les matériaux imperméabilisants et dans certains types d'emballages alimentaires.
 - Chlorpyrifos.
 - Utilisations : Le chlorpyrifos est un pesticide organophosphoré largement utilisé pour contrôler divers insectes nuisibles dans l'agriculture, notamment dans la culture des fruits, légumes, céréales, et pour lutter contre les moustiques et les termites dans certains contextes domestiques.

- Types de produits : Cette substance se trouve principalement dans les produits phytosanitaires pour l'agriculture (pesticides et insecticides), mais il peut aussi être utilisé dans certains produits anti-termite pour la construction.

De plus, en 2023 **3 substances** sont entrées dans la Convention mais n'ont pas encore été intégrées dans le règlement POP via la modification des annexes. Cependant, dans ce dernier cas, il s'agit simplement de délais administratifs, et ces substances seront bien incluses dans la réglementation POP à terme. Les substances concernées sont :

- le déchlorane plus,
- le 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-ditertpentylphenol (UV-328), et
- le méthoxychlore.

4.1.2.3 Substances POP rejetées

Pour chaque substance, la proposition de profil de risque ainsi que celle du descriptif des risques peut être refusée par le Comité d'étude des POP. La Partie a le droit de contester cette décision, selon des modalités qui varient en fonction du niveau d'avancement dans le processus.

D'après l'entretien avec l'ECHA, aucune substance n'a été rejetée par le passé. En effet, la soumission d'un candidat est un processus long et exigeant, demandant des ressources importantes. Les acteurs se lançant dans cette démarche s'assurent donc que le candidat a un fort potentiel d'être inclus.

4.1.2.4 Prévisions sur l'inclusion de nouvelles substances POP

Les caractéristiques d'un POP ressemblent pour partie à celle des substances catégorisées SVHC (Substances of Very High Concern). De plus, une partie du dossier soumis à l'ECHA pour les substances candidates POP est issu du dossier correspondant à son profil SVHC, si la substance est déjà SVHC.

Pour rappel, les Substances of Very High Concern ou substances extrêmement préoccupantes sont des substances ou groupes de substances chimiques ayant des effets néfastes sur l'Homme et/ou l'environnement.¹⁸¹ Une substance est considérée SVHC si elle a une de ces caractéristiques :

- CMR : cancérigènes (substance qui induit ou favorise le développement d'un cancer), mutagènes (peuvent causer des effets génétiques ou induire des mutations cellulaires, avec de possibles effets héréditaires), toxiques pour la reproduction (peut altérer la fertilité, ou porter atteinte au développement de l'enfant) ;
- PBT : persistantes dans l'environnement ou les organismes (faiblement dégradables), bioaccumulables et toxiques ;
- vPvB : très persistantes et très bioaccumulables ;
- Substances qui présentent un niveau de préoccupation équivalent aux substances précédentes, comme les perturbateurs endocriniens.

Dans la plupart des cas, les substances POP sont SVHC, mais ce n'est pas systématique. À titre d'exemple, l'hexabromodiphényl éther est POP depuis 2010 et l'endosulfane et ses isomères sont POP depuis 2012, cependant ils ne sont pas SVHC. En effet, les SVHC sont principalement des substances utilisées par l'industrie chimique, et ne couvrent donc pas les pesticides contrairement aux POP.

Le principal point commun entre les substances POP et les substances SVHC est qu'elles sont à la fois vPvB, ou PBT, ou vPvB et PBT ; les substances POP ne sont pas nécessairement CMR. Sur les substances actuellement candidates à la dénomination POP, 2 sont déjà SVHC : en 2018 pour la famille octaméthylcyclotétrasiloxane (D4) – dexaméthylcyclopentasiloxane (D5) – dodecaméthylcyclohexasiloxane (D6), et en 2021 pour les chloroalcane (C14-C17).

Lors de l'échange avec l'ECHA, il est apparu que le principal frein à l'ajout de nouvelles substances POP était le besoin en ressources humaines pour le dépôt des dossiers. Ainsi, on observe que les pays déposant des dossiers sont principalement des pays riches : par exemple le Canada et des membres de l'Union européenne, etc.

Si des substances préoccupantes sont principalement utilisées dans des pays du Tiers-Monde, il y a donc peu de chances qu'elles soient ajoutées à la Convention de Stockholm, étant donné que les

¹⁸¹ [SVHC : substances extrêmement préoccupantes](#), Ineris

principaux concernés n'auront pas les ressources nécessaires pour demander l'ajout de ces substances à la réglementation.

Il semble compliqué de prévoir l'inclusion de nouvelles substances. Toutefois, une attention particulière peut être portée aux substituts des substances déjà classées comme POP. En effet, ces molécules, bien qu'utilisées en tant que substituts, ont souvent une structure et une composition similaire à celle de la molécule initiale, ce qui augmente les chances de réactions et propriétés similaires. Par exemple, certains retardateurs de flammes bromés, introduits comme substituts après l'inclusion des précédents dans la réglementation, ont eux aussi été ajoutés plus tard à la liste des substances réglementées.

Enfin, l'intérêt médiatique autour de certaines substances peut être un indicateur précieux pour anticiper de futures réglementations.



L'intérêt médiatique comme vecteur d'inclusion d'une substance dans le règlement POP n'est pas à négliger. Il peut notamment s'intensifier à la suite de la publication d'études scientifiques ou de révélations de « scandales environnementaux » via la presse. À titre d'exemple, les retardateurs de flammes bromés ont fait l'objet d'un intérêt particulier dans la presse au début des années 2000. La plupart ont été intégrés progressivement dans la Convention de Stockholm à partir de 2010. Actuellement, c'est également le cas des PFAS qui sont suivis de près par les médias à l'échelle nationale et internationale, et qualifiés de « polluants éternels ». Deux substances appartenant à cette famille ont d'ailleurs été intégrées dans la liste des POP lors des deux dernières conférences des Parties : PFOS et PFHxS. De manière générale, ce contexte exerce une pression sur les pouvoirs publics et la réglementation à venir.

Les PFAS (ou substances per- et polyfluorés) ont une forte résistance chimique, source de leur persistance. Ce sont ainsi des molécules aux propriétés anti-adhésives, imperméabilisantes et résistantes aux fortes chaleurs utilisées depuis les années 1950. Leurs propriétés les rendent intéressantes pour de nombreux domaines d'applications : textiles, emballages alimentaires, mousse anti-incendie, gaz réfrigérants, revêtements antiadhésifs, etc.). Ces molécules sont très persistantes dans l'environnement, du fait de leur grande stabilité. Cette stabilité résulte de la force du lien carbone-fluor (C-F), ce qui rend les PFAS fortement résistants aux attaques chimiques (aux acides, bases et solvants), thermiques (jusqu'à 300 °C, voire davantage) et biologiques (faible dégradation sous l'effet de la lumière, de l'oxydation ou de processus biologiques).

Ainsi, malgré la restriction de leur usage au niveau international, les PFAS restent encore très présents dans le milieu et l'environnement.¹⁸²

Aujourd'hui, trois PFAS sont classés POP : PFOS (2010), PFOA (2020) et PFHxS (2022). Par ailleurs, il est intéressant de noter que la réglementation au niveau européen et français inclut plus d'une vingtaine de PFAS, notamment pour la matrice eau. Le règlement REACH recense également un grand nombre de PFAS dont l'usage est restreint. Ces réglementations influent probablement sur la réglementation POP, et l'inclusion de nouveaux POP à l'avenir, en mettant en place un système de gestion des déchets dédié à ces substances, qui pourra alimenter un éventuel dossier d'évaluation de la gestion des risques dans le cadre d'une éventuelle candidature POP à venir. En l'occurrence, le PFCA fait partie des substances candidates POP, comme mentionné en 4.1.2.2, et plus particulièrement dans la phase de construction du dossier d'évaluation de la gestion des risques.

On peut donc conclure que l'intérêt médiatique actuel, couplé à la pression réglementaire, semble préfigurer l'inclusion de nouveaux PFAS dans le règlement POP dans les prochaines années.

¹⁸² [PFAS : des substances chimiques très persistantes](#), Anses, 2024

4.2 Pistes de réflexions sur la gestion des déchets POP

Aujourd'hui, la gestion des déchets, et en particulier de ceux contenant des POP, est un processus complexe et multi-facettes en raison de la diversité des canaux de collecte et des matériaux concernés. Elle doit permettre un traitement adapté de l'ensemble des déchets contenant des POP pour limiter l'impact de ces substances nocives, aligné évidemment avec les impératifs de la réglementation POP.

Les enjeux principaux rencontrés dans la gestion des déchets POP incluent la difficultés à identifier et gérer les POP sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Leur présence dans les produits et déchets nécessite une attention particulière pour minimiser leur impact environnemental et sanitaire. Comme détaillé ci-dessous, certaines pratiques peuvent être dues à la méconnaissance des produits contenant des POP ou des enjeux internationaux liés aux imports moins réglementés et contrôlés. De plus, les POP ne sont pas les seules substances encadrées par la législation : les techniques de traitement des déchets évoluent constamment pour prendre en compte les enjeux correspondant à de nouvelles substances inscrites dans des règlements tels que REACH.

Afin d'améliorer la gestion des déchets POP, plusieurs pistes de réflexion et d'action sont proposées ci-après. Ces pistes visent à mettre en place une forte traçabilité des substances POP, à encourager l'écoconception des produits, à renforcer le cadre réglementaire sur la gestion des déchets POP et à encourager les innovations sur les processus de traitement.

Avant d'aborder ces pistes, cette section rappelle l'état actuel de la gestion des déchets POP. La présentation des pistes est conclue par une cartographie des acteurs participant à la gestion des produits et déchets contenant des POP, et aux rôles qu'ils peuvent jouer dans l'amélioration des pratiques de gestion des déchets POP.

4.2.1 Constats sur la mise en place des pratiques actuelles de gestion des déchets POP



Pour rappel, l'annexe IV du règlement POP liste les molécules considérées comme POP et indique que seuls les déchets avec une concentration de la substance égale ou supérieur à une valeur seuil sont considérés comme des déchets POP.

En dessous de ce seuil, même si la molécule est présente, le déchet ne sera pas considéré comme un déchet POP, mais comme un déchet contenant des POP en quantité inférieure aux seuils.

Dans l'ensemble du rapport, un « déchet contenant des POP » désigne un déchet intégrant des molécules POP quels que soient les concentrations par rapport aux valeurs des seuils. Cette définition vient compléter celle de « déchet POP », plus restrictive.

En outre, il est important de noter pour une meilleure compréhension de la suite du paragraphe qu'un déchet POP n'est pas forcément un déchet dangereux. Il devra tout de même être traité selon les recommandations du règlement POP, ce qui peut se faire dans des installations de déchets dangereux ou dans des conditions de traitement particulier selon les exceptions.

La gestion des déchets contenant des POP est sujette aux mauvaises pratiques correspondant à des acteurs intervenant à différents niveaux de la chaîne de valeur, tel que présenté précédemment en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 35 : Recensement des mauvaises pratiques possibles ou identifiées (RECORD, 2024)

Acteurs de la chaîne de valeur	Mauvaises pratiques possibles ou identifiées
Fabricant de produits	<ul style="list-style-type: none">• Utilisation intentionnelle de POP : Les concepteurs dans les centres de R&D/fabricants de produits continuent parfois d'utiliser des POP en raison de leur coût inférieur ou de leur efficacité, malgré les alternatives plus sûres disponibles et de la réglementation. De plus, la réglementation inclus quelques dérogations pour le recours aux POP : c'est le cas pour les véhicules qui étaient produits avant le 15 juillet 2019. Ces acteurs peuvent jouer avec les seuils limites

	<p>d'incorporation dans les produits, par exemple en utilisant plusieurs substances proches et restant pour chacune en dessous de seuil réglementaire. Les alternatives utilisées peuvent également être des molécules proches des POP, non réglementées, mais qui pourraient le devenir dans un futur proche : c'est le cas des substances bromées et fluorées, comme vu en section 4.1.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation non intentionnelle de POP : Les fabricants peuvent avoir recours à l'utilisation de matière recyclée contenant des POP, et donc ne pas connaître l'existence de ces substances dans leurs produits. • Manque de transparence : En règle générale, les fabricants ne divulguent pas la composition de leurs produits, et en particulier la présence de POP dans leurs produits, compliquant ainsi leur gestion en fin de vie et les étapes de traçabilité.
<p>Distributeur / Importateur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de clarté dans la traçabilité : Les fabricants sont généralement à l'étranger, avec une possibilité de présence d'une chaîne de production avec de multiples sous-traitants également à l'étranger. Ces acteurs doivent alors répondre aux différentes contraintes réglementaires et aux normes imposées pour une mise sur le marché européen. Ainsi, l'information peut être impossible à obtenir ou peu fiable. • Non-respect des Réglementations : Des manquements dans la conformité aux réglementations internationales, comme la Convention de Stockholm, peuvent se produire, permettant la mise sur le marché de produits non conformes.
<p>Utilisateur / Producteur de déchets</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais gestes de tri : Les utilisateurs sont responsables du tri des déchets ; par manque d'informations, d'étiquetage des déchets POP, de temps ou par simplicité, ils peuvent déposer les déchets dans de mauvaises filières. • Dépôts sauvages : Pour éviter des frais ou pour gagner du temps, les utilisateurs peuvent laisser ses déchets dans une décharge sauvage ou les incinérer illégalement, ce qui peut produire des émissions non filtrées et contaminées les réseaux d'eau. • Accidents : dans le cadre d'un incendie, d'une inondation ou de tout autre événement imprévisible, les produits peuvent se retrouver à l'état de déchet brusquement, et souvent en mélange avec d'autres déchets, rendant l'identification de substances potentiellement dangereuse difficile. De plus, les substances dangereuses peuvent parfois être directement libérées dans l'environnement pendant l'événement (émissions dans l'air pendant l'incendie, lixiviation dans le cadre d'inondations, etc.).
<p>Collecteur</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mélange possible des flux de déchets : Lors de la collecte et du transport des déchets, les flux de déchets peuvent se croiser ou des déchets contenant des POP peuvent ne pas avoir été identifiés comme tels, conduisant à leur mélange avec des flux de déchets variés. • Manque de formation : Une formation insuffisante des travailleurs sur les dangers spécifiques des POP peut mener à une manipulation inappropriée.
<p>Acteur des centres de tri et de gestions des déchets</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastructures inadaptées : Les installations de traitement peuvent ne pas être équipées pour gérer efficacement les POP., à l'image des coûts élevés pour disposer des moyens intégrés pour détecter les POP dans les déchets. En particulier, certains centres de tris sont parfois dépassés par les flux entrant, et n'ont pas la capacité de les traiter. À noter que les installations d'incinération sont particulièrement surveillées, avec des

	<p>outils de mesures des POP (en particulier dioxines et furanes) dans les cheminées et fortement réglementées en France.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-application des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) : L'absence d'application des MTD pour la destruction ou la décontamination des POP peut aggraver la pollution environnementale dans certains pays ayant une réglementation plus laxiste. De manière générale, les MTD Traitement des déchets et Incinération sont applicables et leur non application fait l'objet de sanctions de la part de l'administration.
--	---

En outre, la gestion des déchets contenant des POP pose un défi important, notamment en ce qui concerne le recyclage des déchets contenant des POP en concentrations inférieures aux seuils limites. Ces substances, bien que présentes en quantités réduites, peuvent contaminer des produits recyclés qui ne devraient pas en contenir, tels que les jouets. En l'occurrence, deux études réalisées par des ONG européennes ont alerté sur la présence de substances toxiques à des niveaux élevés dans des biens de consommation fabriqués à partir de plastique recyclé. Des retardateurs de flamme bromés et des dioxines bromées ont été retrouvés dans des jouets pour enfants, qui ont probablement été fabriqués avec du plastique recyclé issus de déchets électroniques recyclés¹⁸³. Cependant, l'origine exacte des matériaux recyclés n'a pas été confirmée, et dans la plupart des cas, les seuils réglementaires n'ont pas été dépassés. Il est également important de noter que les infractions concernent aussi le respect des normes produits des fabricants et non que les pratiques des recycleurs eux-mêmes. Une autre étude¹⁸⁴ a montré des niveaux inquiétants de dioxines bromées (PBDD/F) dans huit jouets et une pince à cheveux en plastique, achetés dans sept pays, dont la France. Ainsi, lorsque ces matériaux sont réintroduits dans la chaîne de production sans une surveillance rigoureuse, les POP peuvent migrer, créant des risques pour la santé humaine et l'environnement.

Dans des pays non européens dans lesquels les réglementations sont moins matures et moins respectées, le traitement des déchets contenant des POP peut être réalisé de manière inadéquate. Par exemple, certaines actions comme la destruction des substances POP ainsi que les captations des effluents peuvent ne pas être réalisées correctement. Cependant, ces mauvais traitements, même s'ils n'ont pas lieu en Europe, ont un impact sur l'ensemble de la biodiversité et peuvent se retrouver sur l'ensemble du globe.

Il est à noter que si les pratiques pour la gestion des POP évoluent avec les découvertes scientifiques, elles se reposent aussi fortement sur des connaissances empiriques. Par exemple, si des tests réalisés par le passé ont démontré la présence de POP dans un produit, celui sera automatiquement classé et traité comme déchet POP sans forcément subir des tests pour prouver la présence de la substance POP. Ceci est mis en pratique avec les DEEE suite aux études réalisées ces dernières années.

Pour faire suite à ces constats, il est donc important de prendre des mesures concrètes et de proposer des pistes d'amélioration qui permettront de remédier aux problèmes identifiés. Les recommandations suivantes visent à apporter des solutions, si possible durables et efficaces, tout en tenant compte les spécificités et les contraintes propres à chaque contexte.

4.2.2 Piste 1 : Optimiser et assurer la traçabilité des substances dans les produits/déchets

Dans un premier temps, maîtriser les composants des produits et déchets est crucial pour optimiser leur traitement, car cela permet de choisir les méthodes de recyclage ou d'élimination les plus appropriées, réduisant ainsi les impacts environnementaux et sanitaires. En effet, en France, la gestion des déchets varie considérablement en fonction du genre du déchet. Les principales catégories incluent les déchets d'activités économiques (2/3, proportion en excluant les déchets du BTP) tels que les résidus de fabrication, les solvants et les huiles usagées et les déchets ménagers (1/3), tels que les déchets organiques, les emballages et les textiles et les déchets industriels.

Chaque composant du déchet influence sa gestion spécifique. Par exemple, les métaux sont récupérés et recyclés pour extraire les métaux ferreux et non ferreux, tandis que les plastiques sont triés par type, nettoyés et regranulés. Le verre est collecté, trié par couleur, broyé et refondu, et les matériaux

¹⁸³ Toxic Loophole, Recycling Hazardous Waste into New Products, Arnika, 2018

¹⁸⁴ Toxic Soup, Dioxins in Plastic Toys, Arnika, 2018

organiques putrescibles sont souvent compostés ou méthanisés pour produire du biogaz. De plus, l'origine géographique des déchets impacte également les méthodes de gestion disponibles, avec des infrastructures locales ou nationales de traitement aux installations spécialisées et dans le respect des réglementations internationales telles que la Convention de Bâle. Finalement, la date de mise sur le marché des produits influence leur gestion : les produits récents sont souvent soumis à des réglementations plus strictes, tandis que les produits anciens peuvent contenir des substances aujourd'hui interdites, nécessitant des traitements spéciaux. Ainsi, une connaissance précise des matériaux aide à maximiser le recyclage des ressources tout en minimisant les risques liés aux substances dangereuses.

La traçabilité des déchets contenant des POP ou des futurs POP, que ce soit au niveau national ou international, est alors importante pour garantir une gestion efficace et sécurisée de ces substances. Il s'agit de suivre les produits contenant des POP ou des futurs POP depuis leur point de génération jusqu'à leur élimination finale notamment pour éviter la contamination croisée et garantir que les déchets POP ne soient pas mélangés avec des déchets non POP et ne partent pas dans des boucles de recyclage. Assurer une telle traçabilité des déchets nécessite de responsabiliser les acteurs de la chaîne de valeur pour assurer une bonne connaissance des sources de POP existantes et potentielles, et de renforcer le suivi et la documentation de chaque étape du processus de gestion des produits/déchets.

Cette traçabilité peut être réalisée à partir d'un système d'identification comme des pictogrammes, symboles, mentions d'avertissement ou mentions de danger, système mis en place par le producteur, car à cette étape-là, il peut avoir de contamination non intentionnelle avec des POP (même pour des plastiques/matières qui ne doivent pas en contenir) en utilisant des matières recyclées. En effet, intégrer des indications simples et claires sur la présence de POP dans les produits est nécessaire pour alerter les utilisateurs et permettre des actions appropriées. Actuellement, des pictogrammes sont déjà utilisés pour signaler la présence de substances dangereuses, comme les produits chimiques, le type de plastiques, les matières inflammables et les agents corrosifs. Par exemple, les symboles de la classification des plastiques présentés en Figure 27 sont directement apposés sur le produit, ce qui permet une identification rapide des plastiques en jeu.

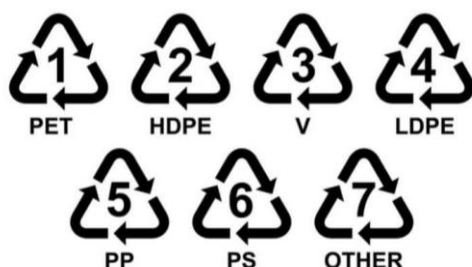


Figure 27 : Classification des plastiques (RECORD, 2024)

En outre, pour les produits contenant des substances candidates pour être POP ou des substances dangereuses potentiellement futurs POP comme les SVHC, d'autres technologies apparaissent sur le marché comme les puces RFID (Radio Frequency Identification) et NFC (Near Field Communication). Elles permettent de stocker et de récupérer des informations sans contact direct, offrant ainsi une solution efficace pour la gestion des matériaux dangereux et la surveillance de la chaîne d'approvisionnement. Cependant, cette mesure peut être considérée comme inadéquate dans cette situation dans laquelle il s'agirait d'anticiper des substances dangereuses et où dans un grand nombre de cas, le plein effet sera obtenu au bout de 10 à 20 ans compte tenu de la durée de vie des produits.

Le passeport numérique produit (DPP), mis en place par l'UE dont l'entrée en vigueur est prévue de façon progressive à compter de 2027, offrira une première solution pour une traçabilité facilitée pour l'ensemble des produits couverts par le règlement Ecodesign for sustainable products regulation (ESPR)¹⁸⁵ ainsi que d'autres règlements comme celui de la construction « Construction Products Regulation » (CPR) ou celui des batteries (EVs batteries).

Pour les POP, une indication similaire pourrait être instaurée. Cela pourrait inclure un pictogramme spécifique, comme un symbole de pollution environnementale ou un emblème représentant la persistance et la toxicité, ou l'intégration d'une puce pour attirer l'attention sur les risques associés à ces substances. Un tel système permettrait de :

¹⁸⁵ [Regulation \(EU\) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive \(EU\) 2020/1828 and Regulation \(EU\) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC](#), EUR-Lex

- Sensibiliser les consommateurs et les travailleurs à la présence de POP.
- Faciliter la gestion et le recyclage appropriés des produits contenant ces substances.
- Renforcer la conformité avec les réglementations environnementales et de santé publique.

En conclusion, l'utilisation de pictogrammes est déjà une pratique courante et efficace dans de nombreux domaines, et l'application de cette méthode aux POP serait une étape logique et bénéfique pour la sécurité et la protection de l'environnement, tout comme le DPP qui sera non négligeable dans la gestion des POP. Cependant, il pourrait être nécessaire de mettre en place des audits réguliers par des organismes indépendants pour vérifier la conformité des déclarations des fabricants et le bon suivi de la traçabilité grâce à certaines réglementations, ce qui sera détaillé ci-après, sachant que cette méthode est adaptée pour les produits mise sur le marché à l'avenir mais que le problème sur des produits historiques reste entier.

De manière plus générale, pour améliorer la traçabilité, il serait important d'améliorer le niveau de connaissance sur la teneur en POP dans toute matière première utilisée (notamment les recyclés).

Pour cela, dans un premier temps il faudrait définir un protocole standardisé, qui puisse être utilisé par tous, à travers l'Europe, pour analyser les produits et les déchets et vérifier l'existence de POP dans sa matrice. Ce protocole pourrait ensuite être appliqué à différents produits et déchets dans le cadre d'une large campagne de vérification de la conformité des produits. Enfin, il pourrait être envisagé d'imposer la mise en œuvre de ce protocole dans le cahier des charges des fabricants, dont ceux situés à l'étranger.

4.2.3 Piste 2 : Améliorer les procédés de traitement des déchets

Dans un second temps, comme relevé en section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, différentes initiatives ont été identifiées sur les procédés de traitement de déchets.

4.2.3.1 Former l'ensemble des acteurs aux enjeux des déchets POP

Pour assurer une gestion efficace et sécurisée des déchets contenant des POP, il faut s'assurer que les producteurs de déchets, les travailleurs de la collecte, du réemploi/réutilisation et du traitement des déchets disposent de formation sur le sujet. Les programmes de formation doivent couvrir les dangers spécifiques des POP, l'identification des déchets POP, les procédures de sécurité appropriées, et les techniques de gestion et de traitement adéquates. La sensibilisation des travailleurs aux impacts environnementaux et sanitaires des POP permet de limiter les risques associés à leur manipulation et à leur élimination. En parallèle, il pourrait être envisagé de partager des guides pratiques ou vidéos informatrices sur la gestion des déchets contenant des POP à tous les intervenants concernés. Ces documents fourniront des instructions détaillées sur les meilleures pratiques à adopter, les protocoles de sécurité, et les méthodes de traitement conformes aux réglementations en vigueur. Les formations pourront être rendues obligatoires pour les acteurs les plus concernés ; cette amélioration des connaissances des acteurs, via la formation et la mise à disposition de documentations pratiques serait une première étape pour garantir une gestion plus rigoureuse et sécurisée des déchets POP.

4.2.3.2 Améliorer le tri des déchets contenant des POP dans les centres de tri-recyclage

Pour faciliter et optimiser le tri des déchets contenant des POP dans les centres de tri et/ou de recyclage, une piste d'amélioration serait d'installer des équipements d'analyse spécifiques sur les sites recevant ces déchets. Cette mesure permettrait de mieux identifier les substances dangereuses présentes dans les broyats, comme les dioxines ou les retardateurs de flamme bromés, et d'éviter leur introduction dans des flux de déchets non spécifiques aux déchets POP. Bien que la réglementation impose déjà des obligations strictes de tri à la source et de caractérisation des déchets avant élimination, la mise en place d'outils d'analyse supplémentaires renforcerait le contrôle et la traçabilité des POP tout au long du processus de traitement, garantissant ainsi une meilleure gestion environnementale des déchets contenant des substances préoccupantes.

4.2.3.3 Mettre en place une gestion des déchets POP optimisées et améliorer leurs traitements

Pour améliorer la gestion des déchets contenant des POP, un des enjeux est d'assurer la mise à niveau des installations de traitement des déchets, que ce soit pour maintenir les équipements actuels, pour adapter la capacité du traitement du site aux flux arrivant, ou pour les équiper des technologies les plus récentes et les plus efficaces. Cela inclut l'amélioration des procédés de tri pour les rendre plus précis et systématiques et capables de fonctionner efficacement à grande échelle. Des normes strictes et pénalisantes doivent être établies pour la séparation des déchets contenant des POP et leur application rigoureuse doit être assurée pour éviter la contamination croisée.

En outre, continuer le développement, la promotion et l'amélioration des techniques en R&D disponibles pour la destruction et la décontamination des POP dans toutes les installations de traitement est fondamental. Il est également nécessaire de financer la recherche sur le traitement des déchets POP afin d'améliorer les méthodes existantes pour garantir que celles utilisées restent à la pointe de l'innovation et de l'efficacité et puissent à terme être qualifiées de meilleures techniques disponibles (MTD). Selon l'Agence Européenne pour l'Environnement, l'adoption des MTD peut réduire significativement les émissions de substances nocives et améliorer la qualité de l'air et de l'eau. En combinant ces efforts, il est possible d'avancer vers une gestion plus durable et sécurisée des déchets POP, minimisant leur impact environnemental et protégeant la santé publique.

Par ailleurs, les travaux de caractérisation analysés lors de l'état de l'art des connaissances scientifiques mettent en évidence l'intérêt de réaliser des études de filières plus régulières afin de caractériser l'ensemble des produits contenant des POP et de vérifier les produits qui n'en contiennent a priori pas. Cela nécessite une collaboration entre les autorités régulatrices, les industries, et les chercheurs pour partager les connaissances sur l'identification des POP et leur traitement, garantissant ainsi une approche holistique et proactive dans la lutte contre la pollution par les POP. Par exemple, des études en cours sur la filière du bâtiment révèlent que certains matériaux de construction peuvent contenir des POP, ce qui nécessite une gestion spécifique lors de la démolition et du recyclage. En parallèle de la réalisation d'études pour détecter les produits contenant des POP, il est également nécessaire d'identifier les produits qui n'en contiennent pas et ne devraient pas en contenir pour éviter de s'interroger inutilement sur certains produits et pour éviter des mesures de gestion inutiles. A l'heure actuelle, il est par exemple possible de citer certains produits pyrotechniques qui sont identifiés par les acteurs pour ne pas contenir de substances POP. Ces études de filières permettent de mieux comprendre la distribution des POP dans différents secteurs et de mettre en place des stratégies de gestion plus efficaces et ciblées, adaptées aux canaux de collecte associés. Elles contribuent également à mettre en évidence un besoin de transparence et traçabilité des matériaux, facilitant ainsi le respect des réglementations internationales telles que la Convention de Stockholm. En outre, ces études fournissent des données précieuses pour la recherche et le développement de nouvelles technologies de décontamination et de traitement des déchets.

Un dernier axe d'amélioration à prendre en compte sur la gestion des déchets est celle des substances dangereuses émergentes, telles que les PFAS. Actuellement, les connaissances sont limitées au sein des acteurs de la chaîne de valeur concernant la gestion des produits contenant des PFAS, qui sont souvent utilisés pour leurs propriétés antiadhésives et résistantes à l'eau, mais qui présentent des risques significatifs pour la santé et l'environnement. Il est stratégique d'intégrer dès maintenant des méthodes pour isoler et traiter ces substances dans les procédés de gestion des déchets. Cela inclut la mise en place de programmes de sensibilisation pour informer le public et les professionnels sur les dangers des PFAS et les méthodes appropriées de gestion. En outre, il est nécessaire de développer et d'appliquer des technologies de traitement spécifiques pour décomposer ou neutraliser les PFAS avant qu'ils ne contaminent davantage les écosystèmes. Selon l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis, des technologies telles que l'adsorption sur charbon actif, l'osmose inverse et l'incinération à haute température montrent des promesses pour la gestion des PFAS¹⁸⁶. Cependant, ces technologies doivent encore être optimisées et rendues accessibles à grande échelle. Il serait également important de renforcer les réglementations pour limiter l'utilisation de PFAS dans les nouveaux produits et de promouvoir des alternatives plus sûres. La collaboration entre les régulateurs, les chercheurs et les industries est essentielle pour développer des solutions efficaces et durables. Selon l'ECHA¹⁸⁷, les initiatives visant à restreindre l'utilisation des PFAS dans l'UE pourraient réduire considérablement les risques associés à ces substances. Ce cas de figure est un bon exemple d'identification, évaluation et prise en compte des dégâts environnementaux potentiels d'une substance

¹⁸⁶ [Key EPA Actions to Address PFAS](#), EPA

¹⁸⁷ [Scientific committees support further restrictions of pfas](#), ECHA

dans la gestion des déchets, et pourraient déjà être appliqués aux substances pouvant être listées comme POP à l'avenir, tel que listé en section 4.1.2.4.

Ainsi, en prenant en compte dès maintenant tous ces initiatives pour optimiser la gestion des déchets contenant des POP, il est possible de minimiser les impacts environnementaux et sanitaires, tout en favorisant une économie circulaire plus sûre et durable.

4.2.3.4 Des bases de données pour l'identification et la déclaration de substances préoccupantes pour une meilleure gestion des déchets

Dans l'optique d'améliorer les processus et la gestion des déchets, il est important de mettre en place des outils performants et adaptés aux besoins des acteurs et en particulier des bases de données recensant les substances dangereuses et les POP et indiquant dans quel produit elles se trouvent.

La base de données SCIP (Substances of Concern In articles / Products) gérée par l'ECHA, vise à améliorer la transparence et la gestion des substances extrêmement préoccupantes (SVHC) présentes dans les articles et produits. Mise en œuvre dans le cadre du règlement REACH, SCIP permet aux entreprises de l'UE de déclarer les substances préoccupantes présentes en concentration supérieure à 0,1 % en poids. Depuis le 5 janvier 2021, cette déclaration est obligatoire pour les fabricants, importateurs et distributeurs. SCIP poursuit plusieurs objectifs :

- Assurer la transparence et l'accès public aux informations sur les substances préoccupantes.
- Aider les gestionnaires de déchets à identifier et recycler les matériaux de manière sûre.
- Réduire l'exposition des humains et de l'environnement aux substances dangereuses.

Les informations soumises incluent les détails sur l'article, la substance préoccupante, sa concentration et des instructions pour une gestion en fin de vie. Les avantages pour les entreprises incluent une meilleure gestion des risques, une réputation renforcée en matière de durabilité, en plus de la conformité aux réglementations tandis que les consommateurs bénéficient d'une plus grande transparence, permettant des choix plus sûrs. Cette base de données peut aussi aider ponctuellement les gestionnaires de déchets pour identifier la présence de POP dans un déchet, même s'il est complexe d'envisager une systématisation de cette pratique pour l'ensemble des déchets reçus par le gestionnaire.

De plus, l'ECHA met en place l'ECHA CHEM, une nouvelle base de données lancée en janvier 2024. Elle vise à améliorer la transparence et la gestion des informations sur les substances chimiques en Europe. La première version de cette base de données contient des informations provenant de plus de 100 000 enregistrements soumis sous le règlement REACH, couvrant l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques. ECHA CHEM permet aux utilisateurs de rechercher des substances enregistrées en utilisant divers identifiants chimiques, tels que le numéro EC (European Community), le numéro CAS (Chemical Abstracts Service) et le nom chimique. Les résultats de recherche et les dossiers de substances peuvent être exportés. La base de données est conçue pour tirer parti des avancées technologiques et optimiser le traitement des données par l'agence. Au troisième trimestre 2024, ECHA prévoit d'élargir la base de données pour inclure des informations sur la classification et l'étiquetage des substances, ainsi que sur l'identification des substances extrêmement préoccupantes et le processus de classification harmonisée. Cela renforcera davantage la transparence et l'accès aux données chimiques pour les entreprises, les régulateurs et le public.

4.2.4 Piste 3 : Renforcer et assurer la bonne application des réglementations

Comme évoqué au sein de certaines actions déjà proposées, la réglementation est un angle d'entrée important pour réduire la présence de POP. En outre, elle peut toucher l'ensemble des acteurs concernés par le sujet. Ainsi, pour renforcer l'application des réglementations, il est crucial de disposer de méthodes d'analyse rapide permettant d'identifier les contrevenants, ce qui peut passer par le développement d'équipes chargées de traquer et de sanctionner les contrevenants à travers la réalisation d'audit pour identifier les mauvaises pratiques. De plus, ces actions peuvent être complétées par des sanctions dissuasives appliquées à ces contrevenants. Les amendes et peines associées aux infractions liées aux POP sont déjà existantes dans de nombreux pays de l'UE mais elles pourraient être renforcées.

Dans le cadre de produits couverts par une filière REP, les éco-organismes jouent un rôle majeur, car ils peuvent imposer des pénalités pour les produits mis sur le marché qui contiennent des perturbateurs de recyclages ou substances préoccupantes. Ces mesures incitatives peuvent encourager les

fabricants à adopter des pratiques plus durables et à réduire l'utilisation de POP. En France, par exemple, les éco-organismes de la filière EEE (Ecosystem¹⁸⁸, Ecologic¹⁸⁹) imposent une pénalité pour la « présence de Retardateurs de Flamme Bromés dans les pièces plastiques >25g (à l'exception des câbles et cartes électroniques) ». Cette pénalité est attribuée sur la base des déclarations des acteurs, et les éco-organismes n'ont pas les moyens d'analyser l'ensemble des appareils mis en marché. Cependant, un enjeu relevant de la réglementation est la définition de l'acteur de la chaîne responsable de la preuve de la présence de POP dans un produit : en effet si le producteur de déchets doit être en capacité de déclarer les substances dans ces déchets, celui-ci peut être aidé par une obligation de la part des fabricants ou des études réalisées par les éco-organismes. De plus, les éco-organismes pourraient également contribuer au tri des déchets dans les centres de tri recevant des déchets potentiellement POP, en imposant des analyses des POP préalablement au passage d'accord avec des opérateurs, par exemple des sites qui broient les DEEE ; et en contribuant à leur financement.

Les pouvoirs publics doivent renforcer les contrôles et la surveillance pour garantir l'application des réglementations car de nombreuses infractions peuvent être observées¹⁹⁰. Cela peut inclure des contrôles réalisés par des vérificateurs/auditeurs pour vérifier le respect des normes chez les metteurs en marchés de manière prioritaire et ensuite chez les producteurs de déchets, les collecteurs ou les recycleurs et autres installations de traitement des déchets. Des inspections strictes et régulières et des audits peuvent aider à identifier de nouveaux canaux de collecte et produits concernés par les POP, et à s'assurer que les pratiques de gestion des déchets sont conformes aux normes en vigueur. Afin de renforcer les actions pour limiter les POP, les pouvoirs publics peuvent aussi mettre en place des mesures plus contraignantes, en renforçant par exemple les obligations de transparence dans le partage d'informations.

En outre, les travaux réglementaires couvrent également la révision fréquente des valeurs seuils du règlement POP concernant les quantités acceptables de POP dans les déchets, ce qui est déjà fait à intervalle régulier aujourd'hui. Réduire progressivement ces seuils permet de diminuer la charge toxique sur l'environnement et la population, tout en assurant une mise en place progressive des procédés par les acteurs, plus facile à mettre en œuvre. Les mises à jour des seuils dans le règlement européen et la Convention de Stockholm pourrait ainsi disposer d'une mise à jour plus fréquente pour continuer de réduire l'impact environnemental des déchets POP. Cependant, si baisser les seuils peut être un fort levier, ils ne peuvent pas aller au-delà des limites de détection des technologies existantes. En outre, le développement de nouvelles technologies de détection est freiné par la viabilité économique la manque d'intérêt et/ou intérêt limité du marché pour le produit car il s'agit souvent d'équipements très chers. À terme, l'objectif ultime serait d'interdire totalement l'utilisation des POP, en favorisant le développement et l'adoption d'alternatives plus sûres et durables. Cette interdiction complète nécessiterait une collaboration internationale et un engagement fort des gouvernements, des industries et des chercheurs pour trouver des solutions de remplacement viables et économiquement soutenables, sujet qui est détaillé en 4.2.5.

4.2.4.1 La gestion des déchets internationaux

La gestion des produits importés de l'étranger dans l'identification des déchets POP est un sujet particulièrement épineux. En effet, même si des réglementations mondiales et d'autres liées à l'import en Europe existent, elles ne sont pas forcément toujours respectées, et leur application est difficile à contrôler. Cette problématique présente un enjeu fort pour s'assurer de la non-intégration de produits dangereux en Europe et de la bonne de gestion des déchets ensuite. Les importateurs doivent se conformer aux réglementations en vigueur dans les pays d'origine et de destination des produits. Cela inclut la nécessité de mesurer les niveaux de POP à la frontière pour s'assurer que les produits importés respectent les normes locales et internationales. Par exemple, l'Union Européenne impose des restrictions strictes sur les POP dans le cadre de la Convention de Stockholm, et les importateurs doivent fournir des preuves de conformité avant que les marchandises ne puissent entrer sur le marché. Les contrôles ne sont pas effectués de manière systématiques, et sont a priori très rarement mis en œuvre. Ainsi, proposer un protocole standardisé ou normé qui puisse être utilisé par tous à travers l'Europe et imposé dans le cahier des charges du fabricant à l'étranger, permettrait d'uniformiser les connaissances sur les POP présents dans le produit et leur quantité.

En lien avec cette thématique, en 2023, le Forum d'application de l'ECHA a décidé que le prochain projet de contrôle REACH se concentrerait sur la conformité des entreprises aux obligations de registration, d'autorisation et de restriction pour les produits et substances chimiques importés hors de

¹⁸⁸ [Modulation de l'éco-participation : primes et pénalités pour encourager l'éco-conception](#), Ecosystem

¹⁸⁹ [Modulation des éco-contributions DEEE](#), Ecologic

¹⁹⁰ [Produits chimiques: 18% d'articles en infraction avec la réglementation \(Echa\)](#), Option Finance, 2023

l'UE. Ce projet, prévu pour 2023-2025, nécessite une coopération étroite entre les autorités de contrôle REACH et les douanes nationales des États membres. Cette initiative a fait suite à des niveaux élevés de non-conformité détectés dans les projets précédents du Forum, dont un projet pilote révélant que 23 % des produits inspectés ne respectaient pas les exigences de l'UE¹⁹¹. Le contrôle des importations au point d'entrée est jugé comme le moyen le plus efficace pour empêcher l'entrée de produits non conformes sur le marché européen. En renforçant le contrôle des importations, le projet contribuera aux objectifs de la stratégie chimique pour la durabilité de l'UE. Si le focus de cette étude n'est pas spécifique au POP, les résultats seront intéressants à regarder pour obtenir un aperçu des produits et substances transitant aux frontières de l'UE.

4.2.4.2 Le renforcement des réglementations grâce à l'action des citoyens

Les mobilisations des citoyens et des associations jouent un rôle crucial dans l'accélération de la mise en place de réglementations plus strictes, comme en témoigne le mouvement autour des PFAS. Ces mobilisations ont souvent pour but de sensibiliser le public et les décideurs politiques aux dangers que représentent ces substances pour la santé et l'environnement. Par exemple, des organisations telles que Environmental Working Group (EWG)¹⁹² et Safer Chemicals, Healthy Families ont mené des campagnes pour informer sur les risques des PFAS et ont appelé à des actions législatives pour leur interdiction et leur régulation stricte. Les actions de ces associations peuvent inclure la réalisation, le financement ou la publication d'études scientifiques, la pression sur les autorités pour qu'elles prennent des mesures, et l'organisation de manifestations et de pétitions. Par exemple, une étude réalisée par EWG¹⁹³ a révélé la présence de PFAS dans l'eau potable de nombreux foyers américains, ce qui a conduit à une prise de conscience massive et à des appels à l'action de la part des citoyens. Ces efforts ont contribué à la mise en place de réglementations plus strictes dans certains États américains et à des initiatives législatives au niveau fédéral. En Europe, des organisations comme ChemSec et Générations Futures¹⁹⁴ ont également joué un rôle clé en documentant les impacts des PFAS et en plaidant pour des régulations plus sévères. Ces mobilisations ont abouti à des discussions au sein de l'Union Européenne pour restreindre l'utilisation des PFAS et à des appels pour leur inclusion dans la liste des substances préoccupantes de la Convention de Stockholm.

Ces mobilisations citoyennes et associatives démontrent l'importance de l'engagement public pour faire pression sur les décideurs et accélérer la mise en œuvre de politiques environnementales plus rigoureuses. Il est intéressant ici de citer l'exemple des poêles en téflon pour lesquelles des tests menés par Que Choisir¹⁹⁵ ont révélé la présence de PFAS. Bien que les niveaux mesurés respectent les réglementations actuelles, l'étude comporte certaines limites, comme la recherche de seulement 70 PFAS sur les plus de 4 000 existants. Ce type d'analyse souligne la nécessité d'une meilleure information des utilisateurs et des acteurs du réemploi concernant les risques associés à ces produits. Ainsi, la collaboration entre les scientifiques, les citoyens et les législateurs permettrait de garantir une gestion efficace des substances dangereuses et protéger la santé publique et l'environnement.

En combinant ces efforts au niveau des importateurs, des fabricants, des associations, des citoyens, des éco-organismes et des gouvernements, il est possible de créer un cadre de gestion des POP plus rigoureux et efficace, réduisant ainsi leur impact environnemental et sanitaire.

4.2.5 Piste 4 : Réduire le recours aux POP dans les diverses industries

Le dernier axe d'amélioration consiste à réduire, voire à cesser totalement l'utilisation POP dans les produits et les processus de fabrication. Cette approche permettrait non seulement de prévenir leur émission dans l'atmosphère, mais aussi à terme d'éliminer la nécessité de les gérer en fin de vie. En supprimant les POP à la source, cela permettrait non seulement de protéger la santé publique et l'environnement, mais aussi de réduire les coûts associés à leur traitement et à leur élimination. Cette stratégie proactive est soutenue par de nombreuses études scientifiques et recommandations internationales, qui soulignent l'importance d'adopter des alternatives plus sûres et durables. Il est ainsi important que les législateurs, les industriels et les chercheurs collaborent étroitement pour favoriser cette transition vers des produits sans POP, une démarche entamée depuis 1998 avec le Protocole d'Aarhus et les textes réglementaires qui ont suivi afin de contrôler, limiter et éliminer l'usage des POP.

¹⁹¹ [Next EU-wide REACH enforcement project to focus on imported products](#), Echa, 2022

¹⁹² [PFAS resources](#), EWG

¹⁹³ [PFAS Contamination of Drinking Water Far More Prevalent Than Previously Reported](#), EWG

¹⁹⁴ [Santé environnementale : Lettre ouverte au futur premier ministre](#), Générations futures

¹⁹⁵ [Antiadhésives... mais avec PFAS](#), Que Choisir

4.2.5.1 Éco-concevoir et anticiper l'enjeu des POP dès la conception d'un produit

Dans un premier temps, l'objectif est d'intégrer l'écoconception dans les pratiques car elle vise à réduire l'impact environnemental des produits tout au long de leur cycle de vie en intégrant des pratiques durables et en minimisant l'utilisation de substances dangereuses telles que les POP. En raison de leur persistance, bioaccumulation et toxicité, les POP peuvent être particulièrement ciblés par les pratiques d'écoconception. Cette approche encourage l'utilisation d'alternatives moins dangereuses et de matériaux plus sûrs pour réduire l'empreinte écologique des produits et prévenir la pollution par les POP et nécessite des investissements pour encourager les travaux de R&D dédiés aux solutions écologiques. Cet aspect écologique peut se quantifier et être exploité après avoir regardé les bons indicateurs d'impact dans les ACV et démarches d'écoconception comme l'écotoxicité aquatique et terrestre, et la toxicité humaine.

En lien avec les réglementations internationales, intégrer des pratiques d'écoconception permettrait aux entreprises de se conformer à ces réglementations dès les premières étapes de la conception, en préfigurant des méthodes de gestion des déchets et des émissions pour garantir que les produits ne libèrent pas de POP au cours de leur cycle de vie. En termes de gestion des déchets, l'écoconception favorise des processus qui minimisent la libération de POP, par exemple en concevant des produits facilement démontables et recyclables afin de faciliter l'isolation et le traitement des composants contenant des POP, empêchant leur diffusion dans l'environnement. En outre, l'écoconception encourage l'innovation dans le développement de nouveaux matériaux exempts de POP, tels que les bioplastiques ou les composites non toxiques, et l'adoption de technologies de production plus propres.

Ainsi, l'écoconception va cibler par exemple les retardateurs de flamme bromés dans l'industrie électronique, et les traitements antitaches et hydrofuges utilisant des PFAS dans l'industrie textile.

4.2.5.2 Prévoir les futures substances préoccupantes et dangereuses et éviter de les utiliser dès que possible

Comme évoqué dans le 4.1, il est important de prévoir les futures substances dangereuses et de les éviter dès que possible pour protéger la santé publique et l'environnement. Cette anticipation repose sur une approche proactive de la chimie durable et de l'évaluation des risques. Cependant, les industries comptent souvent sur le fait que la réglementation interdisant certaines substances ne peut pas suivre le rythme d'introduction de nouveaux composés dérivés avec des propriétés similaires. Les travaux de R&D en industrie restent principalement focalisés sur la performance économique et technique, avec l'impact environnemental rarement pris en compte comme critère prioritaire. Seul un changement radical de l'approche industrielle peut permettre de trouver des solutions « safe » et/ou « green ». Pour cela, il est essentiel de faire évoluer rapidement la réglementation et d'accélérer ou d'alléger la procédure d'intégration des substances sur les listes candidates à l'interdiction. Les scientifiques et les régulateurs doivent identifier les propriétés chimiques potentiellement nocives dès la phase de recherche et développement. Utiliser des outils comme les modèles QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship) ou des bases de données complètes permet de prévoir la toxicité des substances avant leur commercialisation. En outre, l'analyse de tendances historiques et l'apprentissage automatique peuvent aider à identifier des schémas de dangerosité parmi de nouvelles substances chimiques. Une collaboration internationale renforcée et le partage de données sont également cruciaux pour prévenir l'introduction de substances dangereuses sur le marché mondial. En intégrant ces pratiques dans les processus de conception et de production, les industries peuvent non seulement se conformer aux futures réglementations, mais aussi jouer un rôle clé dans la protection de l'écosystème et la promotion d'une économie circulaire durable.

4.2.5.3 Limiter l'usage des POP à l'international

Réduire le recours aux POP à l'échelle internationale présente des défis considérables, notamment en raison de la diversité des réglementations et de leur application inégale. Dans de nombreux pays, les réglementations sont moins strictes, et le suivi de leur mise en œuvre est souvent insuffisant, ce qui complique les efforts pour éliminer progressivement les POP. En outre, agir que sur la réglementaire n'est pas suffisant car il est indispensable de mettre en place des mesures systématiques de contrôle pour vérifier le respect de ces réglementations. Sans une surveillance rigoureuse et continue, les initiatives réglementaires restent inefficaces. De plus, des mesures dissuasives en cas de non-respect, comme des sanctions financières ou des restrictions commerciales, doivent être prévues pour inciter les fabricants à se conformer aux normes. La tendance actuelle à minimiser les coûts incite encore certains industriels à utiliser des substances préoccupantes moins chères, mais des contrôles stricts et des pénalités robustes peuvent aider à freiner cette pratique.

Pour surmonter ces obstacles, il est important de renforcer la collaboration internationale et d'encourager le partage des meilleures pratiques vers les pays disposant d'une réglementation plus permissive, afin de réaliser un effort collectif. Les pays en avance de phase sur la gestion des POP se doivent d'être irréprochable et de demander aux autres de l'être, surtout lors de projets ou étapes de productions internationaux. Les initiatives comme celles de la Convention de Stockholm visent à harmoniser les efforts globaux en matière de gestion des POP, mais elles nécessitent un engagement plus fort de la part de tous les pays signataires. Les campagnes de sensibilisation et d'éducation sont également essentielles pour informer les industries et le public des dangers associés aux POP et des avantages des alternatives plus sûres afin de réduire l'utilisation des POP sur l'ensemble de la planète.

4.2.6 Implication des acteurs selon l'ensemble des actions possibles

L'implication des acteurs dans la gestion des POP est primordiale pour la mise en œuvre efficace d'un ensemble d'actions visant à réduire leur utilisation, améliorer la traçabilité, optimiser le processus de traitement et leur gestion, et garantir le respect des réglementations environnementales. En coordonnant leurs actions et en respectant ces responsabilités, ces acteurs peuvent contribuer à une gestion plus sûre et plus efficace des POP.

Acteur	Traçabilité	Réduction du recours aux POP	Processus de traitement	Aspects réglementaires
Fabricant de produits	Étiqueter clairement les produits contenant des POP pour assurer une traçabilité tout au long de la chaîne de distribution. Mesurer précisément les POP, nature et quantité, avec des protocoles standardisés.	Investir dans la R&D pour trouver des alternatives aux POP et réduire leur utilisation dans les produits.		
Importateur	Assurer que les produits importés respectent les normes locales de traçabilité et contiennent les informations nécessaires sur la présence de POP.	Prendre en compte la teneur en POP parmi les critères de choix entre différents fournisseurs potentiels.		Se conformer aux réglementations internationales et locales concernant l'importation de produits contenant des POP.
Distributeur	Maintenir et vérifier la traçabilité des produits contenant des POP à travers les systèmes de gestion des stocks et d'étiquetage.	Promouvoir et vendre des produits sans POP, sensibiliser les consommateurs à ces enjeux pour les aider à identifier des alternatives plus sûres.		
Utilisateur	Être informé et sensibilisé sur l'identification et l'utilisation des produits contenant des POP, et les canaux de collecte de déchets POP. Réaliser les bons gestes de tri afin de mettre les déchets dans les bonnes filières de tri et canaux de collecte des filières REP, processus actuellement possible pour les produits étiquetés comme contenant des POP, à l'image des DEEE.	Opter pour des produits sans POP lorsque cela est possible.		
Collecteur	Maintenir des registres détaillés des déchets collectés et de leur contenu en POP.		Séparer les déchets contenant des POP des autres flux de	

			déchets pour un traitement approprié.	
Trieur	Ne pas rompre la chaîne d'information et prendre en compte dans le tri les informations apportées par l'indicateur de traçabilité.	Encourager le tri en amont pour limiter la contamination des flux de recyclage avec des POP.	Utiliser des technologies avancées pour identifier et séparer efficacement les déchets contenant des POP.	
Acteur du traitement de déchets	S'assurer que les déchets étiquetés POP lors des précédentes étapes sont bien orientés vers un traitement POP.		Adopter les meilleures techniques disponibles (MTD) pour la destruction et la décontamination des POP.	Respecter strictement les réglementations sur le traitement des déchets contenant des POP.
Éco organisme	Imposer auprès de leurs adhérents la mise en place d'un système de traçabilité à chaque étape de la chaîne de valeur.	Mettre en place des programmes de sensibilisation et financer des programmes de recherche conjoints pour encourager les pratiques durables.	Réaliser des études pour caractériser la présence de POP dans les différents produits.	Imposer des pénalités pour les produits ne respectant pas les normes environnementales.
Pouvoir public	Mettre en place des systèmes de suivi et de vérification pour s'assurer que les réglementations sont respectées à chaque étape de la chaîne de gestion des POP.	Réduire les seuils des quantités de POP acceptables dans les produits et déchets, voir les interdire, et limiter/interdire les importations de produits contenant des POP.	Favoriser le développement d'outils / machines / solutions permettant une gestion optimisée et imposer une gestion universelle et stricte des déchets POP.	<ul style="list-style-type: none"> - Élaborer et faire appliquer des réglementations strictes pour limiter l'utilisation des POP et garantir une gestion appropriée. - Imposer des protocoles fiables et standardisés pour la détection et la quantification des POP dans les produits ou déchets car actuellement ce n'est précisé dans aucune réglementation. - Préciser les protocoles d'évaluation des critères des dossiers d'inclusion, pour que tous les dossiers soient évalués de manière homogène.

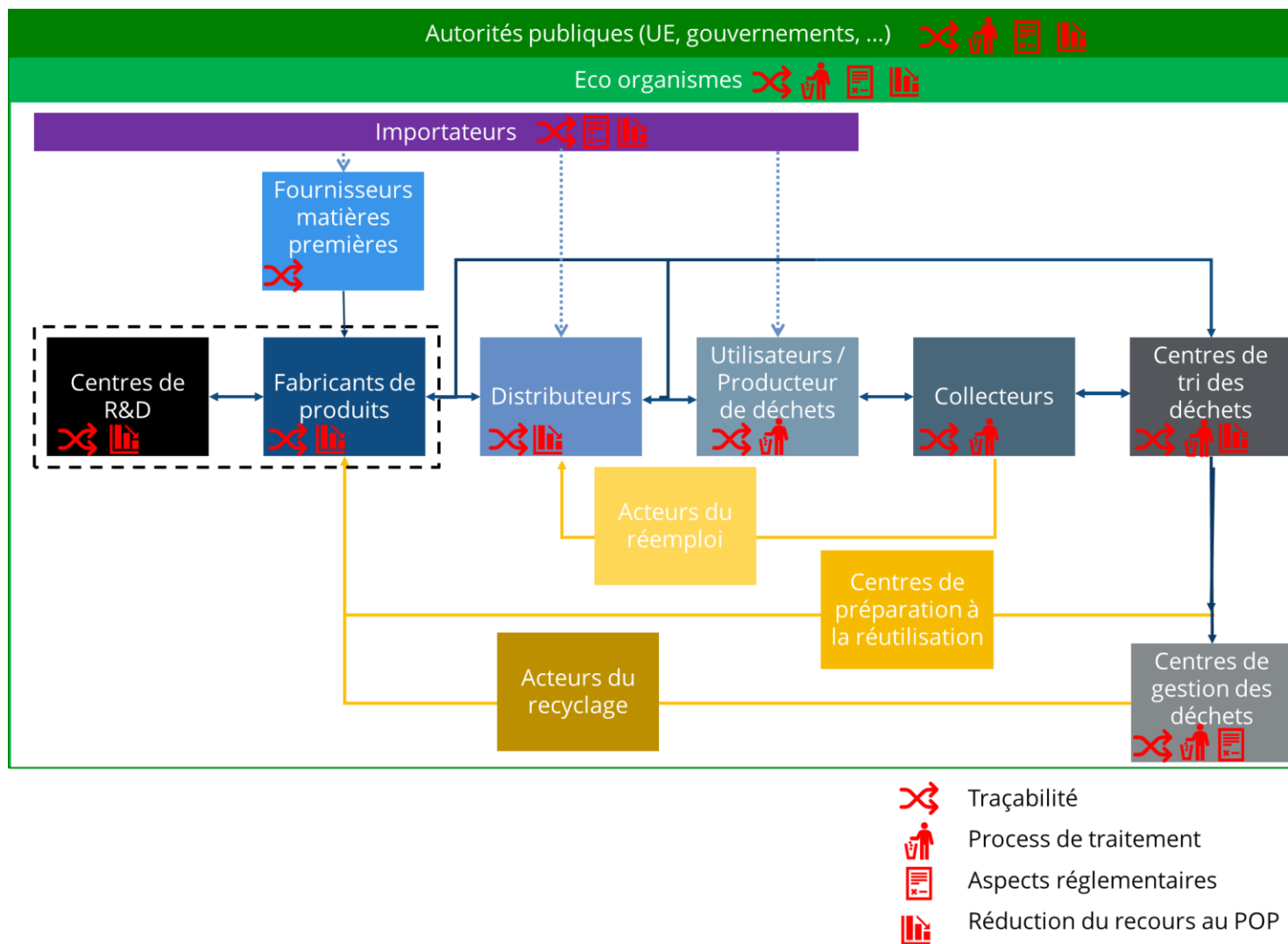


Figure 28 : Répartition des actions possibles selon les acteurs de la chaîne de valeur (RECORD, 2024)

Les flux en pointillés sont de flux potentiels, les acteurs encadrés peuvent ne former qu'un seul acteur

5 Conclusion

Cette étude a permis de mettre en lumière plusieurs points essentiels concernant la gestion des déchets contenant des polluants organiques persistants (POP).

D'une part, la connaissance et la gestion des POP est inégale selon les produits et déchets concernés, et selon les substances POP : certaines occurrences sont bien connues, mesurées, et traitées, tandis que d'autres sont relativement peu surveillées. Bien que les réglementations soient strictes sur l'incorporation de ces substances dans des produits neufs, et sur leur gestion en fin de vie, certaines campagnes de mesures effectuées montrent que les POP restent présents dans de nombreux produits et déchets, même lorsque leur utilisation est fortement limitée ou interdite. Les principales causes identifiées sont le manque de respect de la réglementation pour des produits importés, la présence de gisement de déchets particulièrement anciens, à la composition méconnue, et l'utilisation de matière recyclée.

Ainsi des limites s'appliquent à cette étude :

- L'analyse et la collecte d'informations étaient dépendantes des ressources disponibles en ligne, et des acteurs qui ont pu être contactés pendant le temps de l'étude. La gestion des déchets POP, notamment, n'est pas présentée en détail dans la documentation disponible, et des écarts entre la réglementation et la pratique ont pu être relevés, parfois extrapolés à partir de l'expertise accumulée. Des recherches approfondies basées sur cette première étude permettront de challenger ces résultats et d'améliorer les connaissances globales sur la gestion des déchets contenant des POP.
- Les teneurs en POP présentées dans ce rapport proviennent d'études très variées, qui évaluent cette teneur parfois sur des produits, et parfois sur des déchets, avec des échantillons de provenances diverses. Ces teneurs sont donc comprises dans des gammes de valeurs importantes, bien que cohérentes entre études. Les gammes de valeurs sont particulièrement importantes pour les produits à longue durée de vie, pour lesquels les modes de production ont pu évoluer au fil des années. Par ailleurs, parmi ces valeurs, certaines apparaissent particulièrement élevées, ce qui peut s'expliquer par des aléas statistiques au sein des flux ou par la prise en compte, dans l'échantillon, de flux particulièrement pollués par des POP dans l'échantillon (plastiques issus des isolants pour câbles électriques, par exemple) ; ces valeurs excessives ne sont pas nécessairement représentatives des déchets actuellement collectés. Des analyses complémentaires d'échantillons, portant sur des matériaux et équipements plus variés, seraient utiles pour mieux identifier et évaluer la présence de POP dans les déchets.

D'autre part, la liste des substances considérées comme POP va s'allonger dans les prochaines années, nécessitant une anticipation pour la gestion de nouveaux types de déchets. En effet, la mise en place des méthodes d'analyse et de tri des déchets peut prendre plusieurs années, pour assurer un niveau de fiabilité suffisant et permettre le recyclage des fractions de déchets pas ou peu polluées.

Les défis actuels liés à la gestion des POP perdureront, notamment en raison de la longue durée de vie des produits, de leur provenance variée, et du caractère international des chaînes d'approvisionnement. Ces éléments complexifient la traçabilité et le traitement des déchets pouvant contenir des POP.

Pour améliorer les pratiques et réduire les risques, plusieurs pistes sont suggérées. Celles-ci incluent l'amélioration des systèmes de suivi et de traçabilité, la mise en place de mesures de contrôle, le renforcement des protocoles de traitement des déchets POP, et la promotion de solutions alternatives pour limiter l'usage des POP dans les industries. Ces actions sont cruciales pour protéger la santé humaine et l'environnement face aux enjeux liés à l'utilisation des POP.