

# Polluants émergents

**Rapport d'analyse bibliographique prospective  
Délivrable n°1**

**Service Public de Wallonie (SPW)**

Numéro de projet : 30209545

13/06/2025

BROUILLON

## Contact

**ANTOINE ZANUTEL**  
Project Manager

M +32479967973

E antoine.zanutel@arcadis.com

Arcadis Belgium nv

1 Rue du Marquis  
1000 Bruxelles  
Belgique

---

## Client

**DIRECTION DE  
L'ASSAINISSEMENT DES SOLS  
(DAS)**

**Avenue Prince de Liège, 15  
5100 Namur**

Personne de contact M. Thomas Lambrechts

T +32 (0)81 33 65 39

E thomas.lambrechts@spw.wallonie.be

---

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Méthodologie générale</b>	<b>11</b>
2.1	Identification des substances	11
2.1.1	Liste des familles de polluants	11
2.1.2	Présélection des substances	11
2.1.3	Conclusions de la présélection	15
2.2	Bases de données	17
2.2.1	Base de données pour l'identification des substances et la présélection	17
2.2.2	Bases de données par famille de polluants (tâches 1-2-3)	18
2.3	Tâche 1 : Revue bibliographique des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques	19
2.3.1	Paramètres recherchés dans le cadre de la tâche 1	19
2.3.2	Méthodologie de recherche des paramètres physico-chimiques	21
2.3.3	Méthodologie de recherche des paramètres (éco) toxicologiques	22
2.4	Tâche 2 : Identification des activités historiques et actuelles à risque	24
2.5	Tâche 3 : Identification et description des méthodes analytiques	25
2.6	Contrôle qualité des données	26
<b>3</b>	<b>Retardateurs de flamme</b>	<b>27</b>
3.1	Description chimique et classification	27
3.1.1	Description générale	27
3.1.2	Sélection de composés prioritaires	28
3.2	Description des activités historiques et actuelles	28
3.3	Occurrence des pollutions identifiées	34
3.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	38
3.5	Description des méthodes analytiques disponibles	41
<b>4</b>	<b>Bisphénols</b>	<b>42</b>
4.1	Description chimique et classification	42
4.1.1	Description générale	42
4.1.2	Sélection de composés prioritaires	42
4.2	Description des activités historiques et actuelles	42
4.3	Occurrence des pollutions identifiées	44
4.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	46

4.5	Description des méthodes analytiques disponibles	48
<b>5</b>	<b>Chlorobenzènes</b>	<b>49</b>
5.1	Description chimique et classification	49
5.1.1	Description générale	49
5.1.2	Sélection de composés prioritaires	49
5.2	Description des activités historiques et actuelles	49
5.3	Occurrence des pollutions identifiées	50
5.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	51
5.5	Description des méthodes analytiques disponibles	53
<b>6</b>	<b>Dioxines et furanes</b>	<b>54</b>
6.1	Description chimique et classification	54
6.1.1	Description générale	54
6.1.2	Sélection de composés prioritaires	54
6.2	Description des activités historiques et actuelles	55
6.3	Occurrence des pollutions identifiées	56
6.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	58
6.5	Description des méthodes analytiques disponibles	59
<b>7</b>	<b>Hexachlorobutadiène (HCB)</b>	<b>60</b>
7.1	Description chimique et classification	60
7.1.1	Description générale	60
7.1.2	Sélection de composés prioritaires	60
7.2	Description des activités historiques et actuelles	60
7.3	Occurrence des pollutions identifiées	61
7.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	62
7.5	Description des méthodes analytiques disponibles	63
<b>8</b>	<b>Polychlorobiphényles (PCB)</b>	<b>64</b>
8.1	Description chimique et classification	64
8.1.1	Description générale	64
8.1.2	Sélection de composés prioritaires	64
8.2	Description des activités historiques et actuelles	65
8.3	Occurrence des pollutions identifiées	66
8.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	70
8.5	Description des méthodes analytiques disponibles	71

<b>9</b>	<b>Plastifiants</b>	<b>72</b>
9.1	Description chimique et classification	72
9.1.1	Description générale	72
9.1.2	Sélection de composés prioritaires	74
9.2	Description des activités historiques et actuelles	74
9.3	Occurrence des pollutions identifiées	75
9.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	77
9.5	Description des méthodes analytiques disponibles	79
<b>10</b>	<b>Polychloronaphtalènes (PCN)</b>	<b>80</b>
10.1	Description chimique et classification	80
10.1.1	Description générale	80
10.1.2	Sélection de composés prioritaires	80
10.2	Description des activités historiques et actuelles	80
10.3	Occurrence des pollutions identifiées	81
10.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	82
10.5	Description des méthodes analytiques disponibles	83
<b>11</b>	<b>Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP)</b>	<b>84</b>
11.1	Description chimique et classification	84
11.1.1	Description générale	84
11.1.2	Sélection de composés prioritaires	84
11.2	Description des activités historiques et actuelles	84
11.3	Occurrence des pollutions identifiées	85
11.4	Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique	87
11.5	Description des méthodes analytiques disponibles	88
<b>12</b>	<b>Conclusion</b>	<b>89</b>
<b>13</b>	<b>Annexes</b>	<b>90</b>
	Annexe A1 – Liste des paramètres recherchés	90
	Annexe A2 – Présélection des substances	91
	Annexe B1 – Base de données globale	92
	Annexe B2 – Base de données VTR	93
	Annexe C1 – BRGM matrice	94
	Annexe C1.1 - Retardateurs de flamme	94

Annexe C1.2 – Bisphénols	95
Annexe C1.3 – SCCP	96
<b>Annexe C2 – ZZS Netherlands</b>	<b>97</b>
Annexe C2.1 - Rapport substances dangereuses par secteurs plans (SGS, 2020, Netherlands)	97
Annexe C2.2 - Retardateurs de flamme	98
Annexe C2.3 – Bisphénols	99
Annexe C2.4 – HCBD	100
Annexe C2.5 - Plastifiants	101
Annexe C2.6 – SCCP	102
<b>Annexe C3 – BIOBRO biomonitoring</b>	<b>103</b>
<b>Annexe C4 – Bio monitoring BIODIEN</b>	<b>104</b>
Annexe C4.1 – Résultats pour les eaux de surface	104
Annexe C4.2 – Résultats pour les eaux potabilisables	105
Annexe C4.3 - Résultats pour les eaux souterraines	106
Annexe C4.4 - Résultats pour les rejets de STEP	107
<b>Annexe C5 – Base de données (Bruxelles-Environnement)</b>	<b>108</b>
Annexe C5.1 – Eau de surface	108
Annexe C5.2 – Sol et eau souterraine	109
<b>Annexe C6 – European Human BioMonitoring</b>	<b>110</b>
Annexe C6.1 – Retardateurs de flamme	110
Annexe C6.2 – Bisphenols	111
Annexe C6.3 – Plastifiants	112
<b>Annexe C7 – Base de données (VMM - Vlaamse Milieumaatschappij)</b>	<b>113</b>
Annexe C7.1 – Biote	113
Annexe C7.2 – Eau de surface	114
<b>Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)</b>	<b>115</b>
<b>Annexe D1 – Certificat d'Accréditation</b>	<b>116</b>
Annexe D1.1 – Alwest B.V	116
Annexe D1.2 – Eurofins analytico B.V.	117
Annexe D1.3 – Servaco	118
Annexe D1.4 – SGS	119
<b>Annexe D2 – Aperçu des analyses AI-West 2024 (NL)</b>	<b>120</b>
<b>Annexe D3 – Requête laboratoire (Servaco)</b>	<b>121</b>
<b>Annexe D4 – Requête laboratoire (Eurofins)</b>	<b>122</b>
<b>Annexe D5 – Requête laboratoire (SGS)</b>	<b>123</b>

Annexe D6 – Requête laboratoire (Alwest)	124
Annexe D7 – Index des méthodes d'essai de l'EPA (États-Unis)	125

**14 Bibliographie** **126**

**Colophon** **129**

**TABLEAUX**

Tableau 2-1 - Présélection des substances émergentes	18
Tableau 2-2 - Paramètres physico-chimiques et comportement (ADEME, 2008)	19
Tableau 2-3 - Critères d'évaluation des comportements dans l'environnement (Pellet, 1994 ; Lemière, 2001)	20
Tableau 2-4 Classifications (éco) toxicologiques et mentions de dangers correspondants	22
Tableau 11-1 : Évaluation des risques environnementaux Alcanes C10-13, Chloro (Commission européenne, 1999)	85

**Révision**

Version	Date	Remarque
---------	------	----------

A	18/03/2025	-
---	------------	---

**Édité par**

Département / discipline	Fonction	Nom	Signature	Date
--------------------------	----------	-----	-----------	------

Environnement / Sol	Ingénieur de projet	Louis Druon		13/06/2025
---------------------	---------------------	-------------	--	------------

**Vérifié par**

Département / discipline	Fonction	Nom	Signature	Date
--------------------------	----------	-----	-----------	------

Environnement/ Sol	Project Manager	Antoine Zanutel		13/06/2025
--------------------	-----------------	-----------------	--	------------

Product	Environmental risk assessor	Laura Lefèvre		13/06/2025
---------	-----------------------------	---------------	--	------------

Environnement/ Sol	QA/QC	Karen Van Geert		13/06/2025
--------------------	-------	-----------------	--	------------

# 1 Introduction

Arcadis a été mandaté par le cabinet de la ministre Wallonne de l'Environnement, de la nature, de la forêt, de la ruralité et du bien-être animal pour la réalisation d'une étude visant à définir des recommandations d'investigations et d'analyses pour une série de polluants émergents, à destination des experts agréés « sol ».

La présente étude a été réalisée selon le cadre légal du « Décret sols » du 1er mars 2018 et de l'AGW sols du 6 décembre 2018 relatif à la gestion et à l'assainissement des sols. Dans le cadre de cette législation, l'étude d'orientation constitue la première étape d'une procédure d'investigation d'un terrain potentiellement pollué. L'objectif d'une étude d'orientation est de vérifier la présence éventuelle d'une pollution et de fournir, le cas échéant, une première description et estimation de l'ampleur de cette pollution. Le contenu de cette étude est fixé dans l'Art. 43 du décret sols et est développé dans le Code Wallon de Bonne Pratiques (CWBP) auquel tout expert agréé en gestion des sols pollués est tenu de se conformer. Les méthodologies relatives au prélèvement et à l'analyse des échantillons de sol et d'eau souterraine sont quant à elles fixées dans le Compendium Wallon des méthodes d'Échantillonnage et d'Analyse (CWEA) révisé de manière périodique par l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP).

Dans le cadre de cette phase d'orientation, la première étape consiste à collecter et analyser toute une série de données administratives, historiques et environnementales relatives au terrain visé, dans le but notamment d'identifier les sources potentielles de pollution, et les polluants pertinents associés à ces sources. Cette étape relève de l'expertise des bureaux d'études agréés. Cependant, il est observé dans le cadre de ces types d'étude que la connaissance de l'administration et des experts agréés était incomplète à propos des polluants émergents (CEC – contaminants of emerging concern) repris au sein des règlements POP (polluants organiques persistants) et la convention de Stockholm pouvant mener à une absence d'investigation. Or, ces substances peuvent présenter un potentiel risque pour la santé humaine et pour l'environnement.

À savoir également que, dans le cadre de la stratégie européenne pour la protection des sols à l'horizon 2030, il est planifié pour 2025 l'élaboration d'une « Watchlist soils » soit une liste des substances prioritaires à étudier dans les sols. Une Watchlist eaux souterraines a d'ores et déjà été définie par l'Union européenne (décision d'exécution (UE) 2020/1161) et fait actuellement l'objet d'une révision.

Dans ce cadre, la présente étude intervient afin de définir des recommandations en termes d'investigations pour une série de CEC identifiées comme prioritaires, en vue d'une transmission de ces recommandations aux experts agréés pour la réalisation des études de sols. Ces recommandations pourront être intégrées au sein de Code Wallon de Bonnes Pratiques, définissant la méthodologie des études de sols en Région wallonne.

Les catégories de substances considérées dans le cadre de ce projet ont été définies dans le cahier des charges rédigé par la Direction de l'Assainissement des sols (DAS) :

- PCBs ;
- Dioxines/furanes ;
- Phtalates et autres plastifiants ;
- Retardateurs de flammes ;
- Bisphénols ;
- Chlorobenzènes ;
- Chloronaphtalènes (PCNs) ;
- Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCPs) ;
- Hexachlorobutadiène (HCBd).

Ce projet a été décomposé en différentes tâches listées ci-dessous :

- La revue bibliographique des caractéristiques physico-chimiques, de toxicité et de devenir dans l'organisme des substances retenues ;
- L'identification des activités historiques et actuelles à risque ;
- Identification et description des méthodes analytiques ;
- Identification des composés prioritaires ;
- Recommandations spécifiques et identification des éléments contraignants ;
- Phase de consultation ;
- Présentation et formation ;

Le présent livrable (n°1) en cours concerne uniquement les tâches 1, 2 et 3 et consiste à collecter les données relatives à ces substances dans une base de données. Ce rapport synthétise l'ensemble des informations collectées pour ces trois premières étapes ainsi que la méthodologie utilisée. Au terme de ce premier livrable, les données collectées permettront d'identifier des composés prioritaires et de finalement émettre des recommandations spécifiques. Ces prochaines étapes seront synthétisées dans un livrable ultérieur.

BROUILLON

## 2 Méthodologie générale

Ce premier livrable "rapport d'analyse bibliographique prospective" doit permettre une première compréhension de chacune des familles de polluants investigués afin de permettre l'identification des composés prioritaires et finalement l'émission de recommandations spécifiques d'investigations de sols.

Parallèlement à ce premier rapport, une base de données est créée indiquant pour chaque substance des paramètres physico-chimiques et d'(éco) toxicité, ainsi que des précisions concernant les méthodes analytiques, les activités historiques et actuelles à risques, ainsi que l'occurrence de détection de ces substances.

Ce chapitre vise à détailler la méthodologie générale qui a été appliquée pour réaliser les tâches 1, 2 et 3 détaillées ci-après.

### 2.1 Identification des substances

#### 2.1.1 Liste des familles de polluants

Neuf familles de polluants, telles que définies dans le cahier des charges rédigé par la Direction de l'Assainissement des sols (DAS), ont été investiguées dans le cadre de ce projet :

- PCBs ;
- Dioxines/furanes ;
- Plastifiants ;
- Retardateurs de flammes ;
- Bisphénols ;
- Chlorobenzènes ;
- Chloronaphtalènes (PCNs) ;
- Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCPs) ;
- Hexachlorobutadiène (HCBd).

L'identité des substances reprises dans chacune des neuf familles de polluants a été établie à partir de recherches bibliographiques. Des groupes et sous-groupes éventuels de substances ont également été définis. La description de chaque famille de polluants est davantage détaillée dans les sections ultérieures du rapport (Section 3 -11).

Un total de 1035 substances a été identifié initialement. La liste de ces substances est documentée à l'Annexe A2.

#### 2.1.2 Présélection des substances

Au vu du nombre important de substances (1035), un exercice de présélection a été réalisé afin d'identifier des substances qui seront considérées comme prioritaires pour les tâches 1-2-3. Cette présélection a été appliquée sur des listes initiales de substances, définies spécifiquement pour chaque famille de composés. Les sources bibliographiques utilisées pour élaborer ces listes sont présentées dans la section 1 (description chimique et classification) de chaque famille de polluants.

##### 2.1.2.1 Présélection A (Retardateurs de flammes, Plastifiants, Bisphénols, Chlorobenzènes, Hexachlorobutadiène et SCCPs)

Pour les familles de polluants émergents suivants, la présélection a été réalisée en considérant (1) la présence des substances dans des listes réglementaires ou listes d'intérêt, et (2) les dangers intrinsèques (connus) des substances.

###### 2.1.2.1.1 Présence dans une liste réglementaire ou liste d'intérêt

Les substances présentes dans une des listes réglementaires ou listes d'intérêt suivantes ont été retenues dans l'exercice de présélection :

- Réseau **NORMAN** (substance classée comme classe 1) ;
- Liste **POP** (liste des substances soumises au règlement POP (UE) n° 2019/1021) ;
- Liste des **substances prioritaires eau de surface** (directive 2013/39/EU) ;
- Des listes actives sous le règlement REACH (CE) 1907/2006, à savoir le Registre des intentions **SVHC** (Substance of Very High Concern), les Candidats pour inclusion dans la liste d'Autorisation et la liste d'**Autorisation**, le Registre des intentions de Restriction et la liste des **Restrictions** ;
- **Watch list UE** (Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil n°2000/60/EC, 2006/188/EC et 2008/105/EC).
- Base de données **PNN** (relative aux polluants non normés dans le cadre de la réalisation des études de sols en région Wallonne, et conformément à l'Art 9 du décret sols) ;

Ces listes ont été sélectionnées car elles recensent des substances présentant un profil (éco)toxicologique particulièrement préoccupant, déjà identifiées comme telles et faisant l'objet d'une attention particulière au niveau de l'UE (bien qu'il existe d'autres sources, comme la « Endocrine Disruptor Lists »). Pour ces substances, des mesures réglementaires peuvent déjà s'appliquer (ou pourront dans le futur). En ce qui concerne la base de données PNN, la présence de substances dans la base de données signifie qu'elles ont précédemment été investiguées lors d'études de sol réalisées en Wallonie et sont donc pertinentes pour les activités industrielles présentes sur le sol wallon.

Les différentes listes de substances utilisées pour la sélection sont décrites ci-dessous :

### Liste NORMAN des substances émergentes

Le réseau NORMAN a pour but d'améliorer l'échange d'informations sur les substances émergentes. NORMAN propose une liste de substances les plus discutées contenant plus de 700 substances. Ainsi qu'une méthodologie permettant de classer ces substances par ordre de priorité. Les catégories allant de 1 (preuves suffisantes d'expositions et d'effets à des concentrations mesurées pour fixer des normes) à 6 (preuves suffisantes pour que les substances ne soient pas toxiques). Dans le cadre de ce travail, seules les substances de la catégorie 1<sup>1</sup> sont retenues.

### Liste POP

Les polluants organiques persistants (POP) sont des composés organiques persistants dans l'environnement, qui s'accumulent dans les êtres vivants, et présentent un danger pour la santé humaine ainsi que pour l'environnement. La convention de Stockholm régule ces substances au niveau international. Au niveau européen, la convention de Stockholm est mise en œuvre par la réglementation POP (UE) n° 2019/1021<sup>2</sup> qui liste des substances soumises à une interdiction, une restriction de fabrication, d'utilisation ou encore des dispositifs de gestion des déchets.

### Liste des substances prioritaires eaux de surface

L'Union européenne a publié en 2013 une directive (2013/39/EU)<sup>3</sup> contenant 54 substances prioritaires pour les eaux de surfaces, pour lesquelles les états membres doivent limiter le rejet dans l'environnement. Ces substances constituent un risque important pour le milieu aquatique.

### Listes actives sous le règlement REACH

Le règlement REACH (CE) 1907/2006 est une législation adoptée par l'Union européenne visant à améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les risques liés aux produits chimiques. Le règlement REACH impose des obligations aux entreprises pour l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques, et vise à améliorer la connaissance des substances chimiques utilisées dans l'UE. Plusieurs listes d'intérêt couvertes par le règlement REACH ont été consultées :

- Le Registre des intentions de SVHC (Substance of Very High Concern)<sup>4</sup>, qui reprend une liste de substances identifiées comme étant extrêmement préoccupantes sur base de leurs propriétés dangereuses pour la santé humaine ou l'environnement.

<sup>1</sup> <https://www.norman-network.net/?q=node/81>

<sup>2</sup> <https://echa.europa.eu/list-of-substances-subject-to-pops-regulation>

<sup>3</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32013L0039>

<sup>4</sup> <https://echa.europa.eu/registry-of-svhc-intentions>

- Les Candidats pour inclusion dans la liste d'Autorisation<sup>5</sup> et la liste d'Autorisation<sup>6</sup> (Annexe XIV du règlement REACH). La liste d'Autorisation est une liste de substances chimiques qui ne peuvent être mises sur le marché de l'UE sans autorisation spécifique. La liste des substances candidates reprend les substances qui sont susceptibles d'être soumises à une autorisation spécifique avant leur utilisation, de par leur profil préoccupant.
- Le Registre des intentions de Restriction<sup>7</sup> et la liste des Restrictions<sup>8</sup> (Annexe XVII du règlement REACH). La liste des Restrictions recense des substances chimiques soumises à des restrictions spécifiques sur leur fabrication, mise sur le marché ou utilisation dans l'UE. Le registre des intentions de restriction reprend les propositions d'ajout à la liste des Restrictions, en raison du caractère préoccupant des substances.

## WATCHLIST

Législation européenne sur l'eau, qui a pour objectif commun de protéger la santé humaine et l'environnement des effets combinés des polluants toxiques et/ou persistants. Cette liste<sup>9</sup> se base sur la directive 2000/60/CE 1 (directive-cadre sur l'eau), ainsi que des directives 2006/118/CE 2 (directive sur les eaux souterraines, ou DCE) et 2008/105/CE 3 (directive sur les normes de qualité environnementale, ou DQE), portant toutes deux sur la protection des eaux souterraines et des eaux de surface.

## PNN

Base de données relative aux polluants non normés, qui est mise à disposition des experts agréés dans le cadre de la réalisation des études de sols en Région wallonne. Cette base de données a été élaborée conformément à l'Art. 9 du décret sols, sur base des avis des organes désignés par le Gouvernement wallon, à savoir la SPAQUE et l'ISSEP.

### 2.1.2.1.2 Dangers intrinsèques des substances

Les dangers intrinsèques des substances ont également été considérés, afin d'inclure dans la présélection les substances qui présentent un profil (éco) toxicologique préoccupant, et qui ne seraient pas (ou pas encore) reprises dans une des listes réglementaires ou listes d'intérêt détaillées ci-dessus.

Les paramètres de dangers intrinsèques retenus sont les suivants :

- Une classification selon le règlement CLP (CE) 1272/2008 en tant que :
  - Cancérogène cat. 1 et 2 (H350 et H351)
  - Mutagène cat. 1 et 2 (H360 et H361)
  - Reprotoxique cat. 1 et 2 (H340 et H341)
  - Toxique pour certains organes cibles (STOT RE) cat. 1-2 (H372 et H373)
- Le statut **PBT/vPvB** (Persistante, Bioaccumulable et Toxique / Très Persistante et Très Bioaccumulable) ;
- Le statut **PE** (Perturbateur Endocrinien).

La justification derrière le choix des paramètres repose sur l'article 57 (a-f) du règlement REACH, qui décrit les critères qui rendent une substance éligible pour être identifiée en tant que substance extrêmement préoccupante (SVHC – Substance of Very High Concern), à savoir une classification CMR catégorie 1, une substance PBT/vPvB ou une substance PE (ou des données indiquant une "préoccupation équivalente" comme indiqué dans l'article 57 (f)). Pour compléter l'exercice de présélection, les classifications CMR catégorie 2 et STOT RE catégorie 1 et 2 ont également été retenues, ces dernières étant également évaluées pour le critère "toxique" (T) des substances PBT. Par ailleurs, ces mêmes critères sont également considérés (en partie ou en totalité) dans l'élaboration de certaines des listes réglementaires ou listes d'intérêt considérées pour la présélection.

La présélection réalisée sur base des paramètres de dangers intrinsèques est détaillée ci-après :

## Classification CMR, STOT RE

<sup>5</sup> <https://echa.europa.eu/candidate-list-table>

<sup>6</sup> <https://echa.europa.eu/authorisation-list>

<sup>7</sup> <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions>

<sup>8</sup> <https://echa.europa.eu/substances-restricted-under-reach>

<sup>9</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022D1307>

La classification des substances selon les phrases de danger du règlement CLP (CE) 1272/2008 a été obtenue dans la base de données de l'inventaire C&L<sup>10</sup> hébergée par l'ECHA (l'agence européenne des produits chimiques). Les classifications retenues pour l'exercice de présélection sont les suivantes :

- Cancérogène catégorie 1 et 2 (H350 et H351)
- Mutagène catégorie 1 et 2 (H360 et H361)
- Reprotoxique catégorie 1 et 2 (H340 et H341)
- Toxique pour certains organes cibles (STOT RE) catégorie 1-2 (H372 et H373)

Lorsqu'une substance possède une classification harmonisée au niveau EU, c'est cette dernière qui a été retenue. Dans le cas où une autoclassification plus stricte que la classification harmonisée existe (en raison, par exemple, de l'obtention de nouvelles données scientifiques), la classification la plus stricte a été reprise. Dans la majorité des cas, la classification proposée par le plus grand nombre de déclarants a été considérée en priorité (dans les cas où des substances présentaient des différences importantes dans l'autoclassification indiquées par les divers déclarants).

### Statut PBT/vPvB

Le statut PBT/vPvB d'une substance fait référence à son potentiel d'être Persistante, Bioaccumulable et Toxique (PBT) ou très Persistante et très Bioaccumulable (vPvB). Ces paramètres sont utilisés pour évaluer le caractère préoccupant d'une substance en raison de sa capacité à persister dans l'environnement, à s'accumuler dans les organismes vivants et chaînes alimentaires et à présenter une toxicité élevée pour la santé humaine et l'environnement. Sous le règlement REACH (CE) 1907/2006, les critères "P/vP", "B/vB" et "T" sont évalués sur la base suivante :

- Le caractère "(très) persistant" (P/vP) d'une substance est évalué en fonction de sa capacité à se dégrader dans l'environnement (sur base de demi-vies de dégradation dans diverses matrices environnementales ou en l'absence de telles données, en considérant les résultats d'études de dégradation rapide de la substance).
- Le caractère "(très) bioaccumulable" (B/vB) d'une substance reflète sa propension à s'accumuler dans les organismes vivants et dans les chaînes alimentaires (sur base de valeurs BCF (bioconcentration factor) ou en l'absence d'une telle valeur, en considérant le coefficient de partage octanol-eau (log Kow) de la substance).
- Le caractère "toxique" (T) d'une substance est défini sur base de sa toxicité pour la santé humaine et l'environnement, en tenant compte des paramètres suivants : une classification selon le règlement CLP en tant que cancérogène (cat. 1), mutagène (cat. 1), reprotoxique (cat. 1 et 2), STOT RE (cat. 1 et 2), ou si la substance présente des valeurs NOEC (No-Observed Effect Concentration) ou EC10 pour les organismes aquatiques sous le seuil de 0.01 mg/L.

Pour l'exercice de présélection, le statut PBT/vPvB des substances a été vérifié sur base des informations disponibles dans les bases de données de l'ECHA :

- Pour les substances qui ont fait l'objet d'une évaluation PBT/vPvB par les groupes d'experts PBT de l'ECHA, la conclusion sur le statut PBT/vPvB de la substance a été directement reprise depuis la liste d'évaluation PBT<sup>11</sup> de l'ECHA. Les substances qui étaient toujours en cours d'évaluation pour leur statut PBT/vPvB au moment de réaliser la présélection ont également été retenues, par principe de précaution. Par ailleurs, les substances qui sont reprises sur la liste POP ont également été considérées comme vPvB, puisque les valeurs seuils spécifiées dans la Convention de Stockholm sont en ligne avec ceux utilisés sous le règlement REACH pour définir les paramètres vP et vB.
- Pour les substances qui n'ont pas fait l'objet d'une telle évaluation par le groupe d'experts PBT de l'ECHA, la conclusion sur le statut PBT a été reprise directement dans le dossier d'enregistrement REACH de la substance.

### Statut perturbateur endocrinien (PE)

Le statut PE fait référence au potentiel d'une substance à interférer avec le fonctionnement du système hormonal des organismes vivants et entraîner des effets négatifs tels que des troubles de la reproduction, des altérations du développement ou des effets sur la santé hormono-dépendante.

Dans le cadre de l'exercice de présélection, le statut PE des substances a été vérifié dans la liste d'évaluation des perturbateurs endocriniens<sup>12</sup> de l'ECHA, qui reprend les substances ayant fait l'objet d'une évaluation du caractère

<sup>10</sup> <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database>

<sup>11</sup> <https://echa.europa.eu/pbt>

<sup>12</sup> <https://echa.europa.eu/ed-assessment>

perturbateur endocrinien par le groupe d'experts PE de l'ECHA. Bien qu'il existe également d'autres listes de substances identifiées comme PE (tenues par divers organismes internationaux), la recherche a été limitée à la liste de l'ECHA pour l'exercice de présélection. Ici aussi, les substances qui étaient toujours en cours d'évaluation pour leur statut PE au moment de réaliser la présélection ont été retenues, par principe de précaution.

Il est à noter qu'à l'heure actuelle, seul un nombre limité de substances ont été évaluées pour leur statut PE par le groupe d'experts PE de l'ECHA, et il existe donc des lacunes dans les connaissances scientifiques sur le potentiel caractère PE de nombreuses substances chimiques. Ces considérations s'appliquent également aux autres paramètres de dangers des substances décrits ci-dessus (classification des substances, statut PBT/vPvB), puisque la quantité et qualité des données disponibles pour une substance évoluent naturellement avec le temps. Mais ces considérations sont davantage un point d'attention pour le statut PE puisque les obligations réglementaires imposées aux industriels de l'UE d'investiguer le caractère PE d'une substance sont restées limitées jusqu'il y a peu à certains cas spécifiques (majoritairement liés aux substances actives utilisées dans les produits pesticides et biocides). Actuellement, le récent amendement (EU) 2023/707 du règlement CLP (CE) 1272/2008 (qui introduit de nouvelles catégories de classification, y compris pour le caractère PE pour l'homme et l'environnement), ainsi que les amendements attendus dans les prochaines années pour le règlement REACH (CE) 1907/2006, devront mener à une meilleure connaissance du statut PE des substances chimiques mises sur le marché dans l'UE.

### 2.1.2.2 Présélection B (PCBs, PCNs et Dioxines/furanes)

Pour ces familles de substances, dont la production et l'utilisation sont interdites dans l'UE (PCB et PCN) ainsi que pour les substances qui sont des sous-produits « accidentels » d'un procédé de fabrication (dioxines et furanes), la présence d'information dans les bases de données précitées est souvent lacunaire ou inexistante. Pour ces trois familles de substances, la méthodologie appliquée pour la présélection a donc été ajustée, et se base sur la littérature.

La famille des PCBs comprend 209 congénères de PCB et est divisée en deux sous-groupes ("dioxin-like" et "non-dioxin-like") sur base du profil toxicologique des substances. Pour l'exercice de présélection, un total de 17 substances a été retenu: 7 PCB indicateurs (dont un "dioxin-like") définis en 1982 par le bureau communautaire de la Commission européenne, et 11 PCB ("dioxin-like") qui sont repris dans la liste prioritaire 2013/39/UE.

La famille des PCNs regroupe des composés organiques halogénés qui peuvent être répartis en 8 groupes d'homologues sur base du nombre d'atomes de chlores présents dans la molécule. La famille entière de PCNs est reprise dans la liste des substances POP. Chaque groupe d'homologues est pourvu d'un numéro CAS propre, tel que défini dans l'article 5 de la convention de Stockholm (2021). Ce numéro a été ajouté à la base de données en tant que synonyme de l'isomère représentatif du groupe en question. Ainsi, un total de 8 congénères a été identifié (accompagnés de leurs numéros CAS spécifiques et du groupe d'homologues correspondant) pour les différents groupes d'homologues de polychloronaphtalènes.

La famille des dioxines et furanes couvre des composés chimiques formés lors de processus industriels impliquant des substances chlorées ou des processus de combustion. La famille reprend 210 substances, dont 135 isomères de furanes et 75 isomères de dioxines. Pour cette famille de substances, un total de 17 substances (7 dioxines et 10 furanes) a été sélectionné dans l'exercice de présélection sur base de leur présence dans la liste prioritaire 2013/39/UE.

### 2.1.3 Conclusions de la présélection

Sur base de l'exercice de présélection, un total de 219 substances a été retenu. La liste de ces 219 substances est reprise à l'Annexe A2.

Il est important de souligner que l'exercice de présélection a été réalisé afin de pouvoir compléter les tâches 1-2-3 sur un nombre concentré de substances. Le résultat de cette présélection est entièrement dépendant du statut des listes réglementaires ou listes d'intérêts au moment où elles ont été consultées, ainsi que l'état des connaissances scientifiques sur le profil (éco) toxicologique des substances au moment où la présélection a été réalisée. Particulièrement pour des familles de substances qualifiées de « polluants émergents », qui font actuellement l'objet d'une attention particulière tant au niveau des agences réglementaires nationales et (extra) européennes qu'au niveau de la recherche scientifique, le statut de l'information référencée pour la présélection peut rapidement évoluer.

En ce qui concerne les listes réglementaires, ces dernières sont continuellement mises à jour par les organismes responsables à mesure que de nouvelles substances d'intérêt sont identifiées, ou lorsque des substances font l'objet d'une évaluation sous un régime réglementaire spécifique, ou que de nouvelles données scientifiques sont générées. En particulier, dans le cadre de sa stratégie réglementaire intégrée, l'ECHA réalise des évaluations des besoins réglementaires (ARN, Assessment of Regulatory Needs) afin d'identifier des familles ou groupes de substances prioritaires pour une gestion du risque réglementaire au niveau de l'UE. Sur cette base, un grand nombre de familles de substances étudiées dans ce projet ont fait l'objet d'un ARN réalisé par l'ECHA au cours des années 2021-2024. C'est le cas par exemple pour certains sous-groupes de substances dans les familles de retardateurs de flammes, plastifiants, bisphénols et chlorobenzènes. Les processus réglementaires recommandés dans les rapports d'ARN de l'ECHA varient selon les substances (sous-groupes entiers ou substances individuelles) et peuvent inclure : des processus de classification harmonisée, l'ajout aux listes de substances SVHC, le lancement d'évaluations pour l'autorisation ou la restriction des substances dans l'UE, ou encore la conclusion qu'aucune action réglementaire supplémentaire n'est nécessaire. Certains de ces processus réglementaires, ainsi que les évaluations par les groupes d'experts de l'ECHA, peuvent conduire à l'ajout de substances sur les listes réglementaires utilisées pour la présélection des substances. Au vu du contexte réglementaire actuel, il faut donc s'attendre à ce que des substances supplémentaires soient identifiées si l'exercice de présélection est réalisé à nouveau dans un futur proche.

Certains des processus réglementaires susmentionnés requièrent que de nouvelles études scientifiques soient générées sur les substances afin de conclure sur certains paramètres (éco) toxicologiques. De nouvelles données peuvent également être générées à mesure que les industriels ajustent leurs dossiers réglementaires. Sur cette base, les données relatives aux critères de dangers intrinsèques utilisés pour l'exercice de présélection pourraient également évoluer dans le futur. Par ailleurs, la présélection a été réalisée sur base d'une liste de dangers intrinsèques limitée. Toutefois, d'autres paramètres pourraient également être considérés comme pertinents pour un tel exercice de présélection, tels que la classification Aquatic Chronic ou le statut PMT/vPvM des substances.

La classification Aquatic Chronic (catégorie 1 et 2; H410 et H411) du règlement CLP (CE) 1272/2008 couvre les substances qui sont (très) toxiques pour les organismes aquatiques et peuvent entraîner des effets néfastes à long terme. Ces substances peuvent causer des effets graves ou irréversibles sur les écosystèmes aquatiques, et cette classification est représentative du danger intrinsèque d'une substance pour l'environnement (alors que les classifications retenues pour l'exercice de présélection couvraient principalement les dangers pour la santé humaine). La classification Aquatic Chronic n'a pas été retenue à ce stade puisqu'elle ne permettait pas de réaliser une présélection assez affinée. Toutefois, les classifications pour le milieu aquatique (toxicité aiguë et chronique) sont répertoriées dans les bases de données constituées à la tâche 1, pour les substances retenues dans la présélection.

Le statut PMT/vPvM d'une substance fait référence à son potentiel d'être Persistante, Mobile et Toxique (PMT) ou très Persistante et très Mobile (vPvM). Le nouveau critère "M" a été introduit lors du récent amendement (EU) 2023/707 du règlement CLP (CE) 1272/2008, et représente la mobilité potentielle d'une substance dans l'environnement (évalué sur base du coefficient de partage eau-carbone organique (log K<sub>oc</sub>) d'une substance). Le critère "M" (et le statut PMT/vPvM) n'étant pas encore implémenté au moment de réaliser l'exercice de présélection, ce critère n'a pas été évalué dans le cadre de cette étude, mais pourrait être envisagé étant donné le risque d'une contamination à long terme des ressources en eau des substances ayant le statut PMT/vPvM.

Enfin, il faut noter que les principes appliqués pour la présélection sont davantage pertinents pour les substances qui sont produites ou mises sur le marché dans l'UE à l'heure actuelle, et pour lesquelles il existe donc des données actives dans les diverses bases de données de l'ECHA. C'est le cas principalement pour les substances reprises dans les familles des retardateurs de flammes, bisphénols, plastifiants et autres plastifiants, chlorobenzènes, paraffines chlorées à chaîne courte (SCCPs) et hexachlorobutadiène (HCBd). Toutefois, il n'est pas exclu que certaines substances de ces familles aient été interdites dans le passé. Il n'a pas été vérifié pour chacune des substances sélectionnées si elles sont encore autorisées ou pas. Par contre, il est supposé que les substances actuellement interdites de ces familles et les plus problématiques, auraient été intégrées dans l'une des listes retenues, et figureraient ainsi parmi les molécules présélectionnées dans le cadre de cette étude.

Pour les substances dont la production et l'utilisation sont interdites dans l'UE (PCB et PCN) ou les substances qui sont des sous-produits "accidentels" d'un procédé de fabrication (dioxines et furanes), la présence d'information dans les bases de données précitées est souvent lacunaire ou inexistante. Pour ces trois familles de substances, la méthodologie appliquée pour la présélection a donc été ajustée, conformément aux explications fournies dans la section 2.1.2.2.

## 2.2 Bases de données

Une première base de données a été établie pour répertorier l'identité des neuf familles de polluants, ainsi que les données récoltées pour réaliser l'exercice de présélection.

Ensuite, pour l'ensemble des 219 substances retenues dans l'exercice de présélection, des bases de données reprenant les paramètres des tâches 1-2-3 (caractéristiques physico-chimiques et (éco)toxicologiques des substances, identification des activités historiques et actuelles à risque, méthodes analytiques) ont été établies pour chaque famille de polluants. Ces paramètres permettront lors de la tâche 4 d'attribuer un scoring aux substances et de faire une sélection plus affinée des substances à analyser dans le cadre des études de sols.

À noter que les données ont été recueillies entre août 2024 et mars 2025.

### 2.2.1 Base de données pour l'identification des substances et la présélection

La base de données qui recense l'identité des substances et couvre le processus de présélection est disponible à l'Annexe A2. Elle inclut :

- Dans un premier onglet : Présélection A
  - La liste des 541 substances émergentes identifiées à la suite de la recherche bibliographique effectuée au début de l'étude (cette recherche bibliographique est détaillée pour chaque famille de polluant dans les Sections 3 -11).
  - L'exercice de présélection appliqué à ces 541 substances, y compris les données récoltées pour réaliser la présélection (à savoir la présence sur des listes réglementaires ou listes d'intérêt, et les dangers intrinsèques des substances).
- Dans un second onglet : Présélection B
  - La liste des 494 substances émergentes identifiées à la suite de la recherche bibliographique effectuée au début de l'étude (cette recherche bibliographique est détaillée pour chaque famille de polluant dans les Sections 3 -11).
  - L'exercice de présélection sur base de la littérature appliqué à ces 494 substances, y compris les données récoltées (à savoir, la présence sur des listes réglementaires ou listes d'intérêt, et les dangers intrinsèques des substances).
- Dans un troisième onglet : Conclusion présélection A & B
  - Les 219 retenues dans l'exercice de présélection (sur lesquelles des recherches liées aux tâches 1-2-3 ont été effectuées).
  - N.B. Une colonne indique également les substances qui sont couvertes par un des ARNs (Assessment of Regulatory Needs) réalisés par l'ECHA, et qui sont donc considérées comme prioritaires au niveau européen pour des études et évaluations plus approfondies (comme détaillé dans la Section 2.1.2.2). Ce paramètre n'a pas été utilisé pour le processus de présélection, mais la colonne est maintenue dans la base de données à titre informatif.

Le tableau ci-dessous résume le processus de sélection des substances émergentes, où un total de 219 molécules ont été choisies après la présélection parmi les 1035. Il est important de noter que les substances en double, pouvant appartenir à plusieurs familles de polluants, ont été comptabilisées une seule fois.

Tableau 2-1 - Présélection des substances émergentes

Selection finale	Global <sup>13</sup>	Toxico <sup>14</sup>	List <sup>15</sup>	Total sélection (without duplicates)
Flame retardants	312	81	53	101
PCN	75			8
Plastifiants	110	28	33	41
Bisphenols	105	20	4	20
Chlorobenzenes	12	3	12	12
Hexachlorobutadiene	1	1	1	1
SCCP	1	1	1	1
PCB	209			18
Dioxines	210		17	17
<b>Total</b>	<b>1035</b>	<b>134</b>	<b>121</b>	<b>219</b>

## 2.2.2 Bases de données par famille de polluants (tâches 1-2-3)

Des bases de données dédiées à chaque famille de polluants ont été créées à partir des 219 molécules retenues dans la présélection, et sont disponibles dans les Annexes B. Ces bases de données reprennent les paramètres recherchés dans le cadre des tâches 1-2-3 (caractéristiques physico-chimiques et (éco)toxicologiques des substances, identification des activités historiques et actuelles à risque, méthodes analytiques), sélectionnées en suivant la méthodologie détaillée dans les Sections 2.3, 2.4, 2.5.

- Les paramètres recherchés dans ces bases de données sont répertoriés en détail dans l'Annexe A1 sous la forme d'un tableau synthétique présentant chacun des paramètres étudiés. Ce tableau indique, pour chaque paramètre, le nom de la colonne dans la base de données, le nom de la colonne dans la base de données PNN, les éventuelles unités et le comportement évalué. Il est divisé en plusieurs sections :
  - Identification ;
  - Paramètres physico-chimiques ;
  - Paramètres toxicologiques ;
  - Produits et voies de dégradations ;
  - Méthodes d'analyses.
- La structure de ces bases de données est conçue de manière similaire pour chacune d'entre elles, organisée en trois parties représentant les trois différentes tâches. On y trouve notamment :
  - Une feuille Excel par tâche ;
  - Un format de base de données conçu pour une conversion aisée en format Access. De plus, pour garantir la compatibilité avec la base de données PNN, une dénomination identique est utilisée pour les paramètres également présents dans la base de données PNN.

<sup>13</sup> Liste des substances identifiées pour cette étude pour chaque famille.

<sup>14</sup> Liste des substances sélectionnées (après le processus de sélection basé sur des critères toxicologiques).

<sup>15</sup> Liste des substances sélectionnées (en fonction de leur présence ou absence dans une des listes d'intérêt).

## 2.3 Tâche 1 : Revue bibliographique des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques

### 2.3.1 Paramètres recherchés dans le cadre de la tâche 1

Les paramètres recherchés dans le cadre de la tâche 1 sont explicités dans l'Annexe A1. Voici une synthèse des principaux paramètres et des comportements associés.

**Identification du composé** : Les données telles que *le nom de la substance* provenant d'ECHA, son *acronyme*, son *numéro EC*, son *numéro CAS*, sa *formule chimique*, sa *formule SMILES*, ainsi que *la famille de polluants émergents*, son *groupe* et *sous-groupe* sont détaillés dans chaque base de données. Des informations sur les *quantités fabriquées et importées* dans l'Espace économique européen sont également recherchées et présentées aux Annexes B.

**Paramètres physico-chimiques**: Ces paramètres, propres à chaque substance, permettent d'évaluer leurs comportements dans l'environnement.

Le Tableau 2-2 (ADEME, 2008) indique les paramètres physico-chimiques ainsi que les comportements des polluants associés. Parmi ces paramètres physico-chimiques, tous n'ont pas pu être retrouvés dans cette étude. Le détail des paramètres recherchés pour chaque substance se trouve en Annexe A1, et les comportements évalués sont décrits au sein des sections 3 à 11.

Tableau 2-2 - Paramètres physico-chimiques et comportement (ADEME, 2008)

Critères de comportement	Grandeurs caractéristiques	Polluant organique	Polluant inorganique et organominéaux
Capacité à se solubiliser	Solubilité dans l'eau Masse molaire Fraction molaire de chaque composé dans la phase organique	X	X
Ecoulement vertical du fluide et rétention capillaire	Densité de la phase liquide non miscible (PLNA ou NAPL : Non-aqueous Phase Liquide) Viscosité de la PLNA Saturation résiduelle de la PLNA Relations perméabilité relative/ pression capillaire/saturation	X X	X (Hg°)
Capacité à se volatiliser	Tension de vapeur (échange phase organique/gaz) Masse molaire Fraction molaire de chaque composé dans la phase organique Coefficient d'échange phase organique/gaz Température d'ébullition Constante de Henry (échange eau/gaz)	X	X (Hg°, Hg organiques, Pb organiques)
Migration des vapeurs	Densité de la phase gazeuse Diffusion moléculaire des gaz Pression partielle du composé vapeur dans les gaz du sol	X	X (Hg°, Hg organiques, Pb organiques)
Affinité avec l'eau (polarité, hydrophobie)	Coefficient de partage eau/octanol (Kow)	X	
Capacité à être adsorbé sur la matrice solide	Coefficient de partage eau/carbone organique (Koc) Fraction de carbone organique (foc) Coefficient de partage liquide/solide ? (Kd)	X	X
Dégradation biologique ou chimique	Temps de demi-vie (ou constante de dégradation du premier ordre) Vitesse maximale de dégradation (Monod) Constante de demi-saturation	X	X
	Ionisation (pKa)		

Le Tableau 2-3 issu de (B. Lemièrre, et. Al. *Guide Sur Le Comportement Des Polluants Dans Les Sols et Les Nappes*, 2001) détaille l'interprétation du comportement dans l'environnement en fonction des valeurs physico-chimiques.

Tableau 2-3 - Critères d'évaluation des comportements dans l'environnement (Pellet, 1994 ; Lemière, 2001)

Paramètre	Symbole	Unité	Critères (à 20 – 25°C)	Interprétation
<b>SOLUBILISATION</b>				
• Solubilité dans l'eau		[mg/l]	S < 150 150 < S < 10 000 S > 10 000	⇒ insoluble à peu soluble ⇒ peu soluble à soluble ⇒ soluble à très soluble
<b>VOLATILISATION</b>				
• Pression de vapeur	$P_v$	[Pa]	$P_v < 133$ $P_v \geq 133$	⇒ non volatil ⇒ volatil
• Point d'ébullition	$T_e$	[°C]	$T_e < 80$ $80 \leq T_e < 200$ $T_e \geq 200$	indicatif
• Constante de Henry	$k_H$	[Pa.m <sup>3</sup> /mol]	$K_H < 100$ $100 \leq k_H < 500$ $k_H \geq 500$	⇒ faiblement volatil ⇒ volatil ⇒ très volatil
<b>MIGRATION GRAVITAIRE DES VAPEURS</b>				
• Densité par rapport à l'air	$d_v$	( $d_{air} = 1$ )	$d_v < 1$ $d_v \geq 1$	⇒ mouvement ascendant ⇒ accumulation en surface de nappe
<b>MIGRATION VERTICALE DU FLUIDE</b>				
• Densité par rapport à l'eau	$d_l$	( $d_{eau} = 1$ )	$d_l < 1$ $d_l \geq 1$	⇒ flottant au toit de la nappe ⇒ écoulement vertical
• Viscosité	$\mu$	[cP]	$\mu > 0,9$ $0,9 \leq \mu < 2$ $\mu \geq 2$	⇒ plus fluide que l'eau ⇒ fluidité de l'eau ⇒ fluidité de l'huile ou moindre

Ci-dessous un aperçu des principaux comportements associés aux paramètres physico-chimiques recherchés dans le cadre de cette étude,

- **La capacité de volatilisation** : Elle fait référence au processus par lequel une substance passe de l'état liquide ou solide à l'état gazeux à température ambiante. La *pression de vapeur* ou la *constante de Henry* sont généralement utilisées afin de définir la volatilité des substances (BRGM, 2008). Ces deux paramètres sont recherchés dans les bases de données, disponibles en Annexe B. Ils sont également abordés et interprétés dans les sections 3 à 11 de chaque famille respective sur base du Tableau 2-2.
- **La solubilisation** : La solubilité dans l'eau est la capacité d'une substance à se dissoudre dans l'eau, et est un des paramètres majeurs qui influence le devenir et le comportement des substances dans l'environnement. En effet, la solubilité d'une substance va influencer sa mobilité (en général, plus une substance est hydrosoluble, plus elle aura tendance à être distribuée dans le réseau aquatique), ainsi que sa biodisponibilité pour les organismes vivants. Elle est également corrélée à de nombreux autres paramètres (Kow, Koc, constante de Henry, etc.). Cette donnée est disponible en Annexe B, sur base du paramètre phys 6\_solubilité\_eau relative à la *solubilité de la substance*. Il est également abordé et interprété dans les sections 3 à 11 de chaque famille respective sur base du Tableau 2-2.
- **L'écoulement vertical du fluide** : La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Ce comportement est évalué via le paramètre de *densité non aqueuse en phase liquide* (phys16), disponible en Annexe B. Il est également abordé et interprété dans les sections 3 à 11 de chaque famille respective sur base du Tableau 2-2.
- **Le coefficient de partage eau / n-octanol (Kow)** : Le *coefficient de partage eau/octanol (Kow)* est une mesure du ratio entre le caractère hydrophile et lipophile de la substance. Ce paramètre physicochimique peut influencer sur de nombreuses caractéristiques d'une substance, telles que sa sorption, sa biodisponibilité, sa capacité à se bioaccumuler dans les organismes vivants et son (éco) toxicité. En Annexe B, ce paramètre est recherché, ainsi qu'abordé et interprété dans les sections 3 à 11 de chaque famille respective.

- Il convient de mentionner également que les valeurs expérimentales de BCF/BTF n'ont pas été recherchées dans le cadre de ce projet (ces paramètres ne peuvent être calculés par le biais de S-Risk, ce qui n'est pas prévu dans le cadre du présent marché). En l'absence de données BCF, le coefficient de partage eau/octanol peut être utilisé (pour de nombreuses substances) comme un premier indicateur de sa tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et les chaînes alimentaires. Une molécule organique présentant une valeur expérimentale de log Kow égal ou supérieur à 5.0 peut être considérée comme lipophile (VITO, 2023). Sous le règlement REACH et le règlement CLP, une valeur seuil de log Kow > 4.5 peut être utilisée pour avoir une première indication du caractère (très) bioaccumulable de la substance dans les organismes aquatiques.
- **L'adsorption sur des matrices solides** : Ce comportement peut être évalué sur base du *coefficient de partage carbone organique/eau (Koc)*, disponible en Annexe B, qui caractérise la capacité d'une substance à se "lier" aux surfaces solides. Cette propriété est donc essentielle pour comprendre le comportement de partitionnement dans l'environnement, et va également influencer la biodisponibilité d'une substance pour divers organismes. Des valeurs seuils de log Koc < 3 et log Koc < 2 ((EU) 2023/707 du règlement CLP (CE) 1272/2008) peuvent servir comment premier critère pour décrire des substances mobiles (M) ou très mobiles (vM) dans l'environnement.
- **La migration des vapeurs** : Ce comportement est évalué sur base des *coefficients de diffusion dans l'air et de partage octanol/air*. Ces paramètres n'ont pas été retrouvés via les sources mentionnées. Il est cependant possible de les calculer via S-Risk.
- **La dégradation du composé** : Ce comportement est évalué sur base du *temps de demi-vie*, de la *constante de dégradation du premier ordre*, de la *constante de demi-saturation*, ainsi que du paramètre de *biodégradation rapide*. Ce dernier peut être obtenu à partir des tests de dépistages relativement simples (par exemple, via des études menées selon la norme OECD 301 "ready biodegradability tests") et offre une première indication du caractère persistant d'une substance. Sous le règlement REACH et le règlement CLP, une substance qui est "ready biodegradable" est généralement qualifiée de non persistante dans l'environnement (alors qu'une conclusion "not readily biodegradable" est une première indication du potentiel caractère persistant d'une substance). Ces paramètres sont recherchés et disponibles en Annexe B.

Il est important de noter que les produits de dégradation n'ont pas été étudiés dans le cadre de ce livrable n°1. Les informations recueillies étaient trop générales et ne couvraient pas les dégradations potentielles dans le sol, mais plutôt les produits de dégradation issus de processus thermiques par exemple (ce qui n'est donc pas représentatif des produits de dégradation que l'on pourrait retrouver dans l'environnement). Ces produits de dégradation seront examinés plus en détail dans les tâches ultérieures. Cela n'impacte dans tous les cas pas le processus de sélection qui sera réalisé en tâche 4.

D'autres paramètres ont été collectés dans les bases de données et sont disponibles en Annexe B. Cela inclut :

- La nature organique/inorganique du composé, recherchée à travers la phys1 ;
- Le caractère acide/base d'un composé, recherché à travers la phys3 ;
- Le pKa potentiel d'un composé, recherché à travers la phys4 ;
- La masse moléculaire d'un composé, recherchée à travers la phys5 ;
- La température d'ébullition, recherchée à travers la phys20.

**Paramètres toxicologiques** : Ces paramètres ont été décrits dans la section 2.1, ils seront donc seulement cités dans cette section. On retrouve notamment,

- L'appartenance à l'une des listes d'intérêts (POP list; Priority list EU, Norman List, Reach List, PNN, Watch list) ;
- Les paramètres PBT/vPvB, perturbateur endocrinien, phrases H et cancérigène ;
- Les valeurs toxicologiques de références (VTR), déterminées en fonction de l'exposition par voie inhalatoire, orale ou cutanée.

### 2.3.2 Méthodologie de recherche des paramètres physico-chimiques

Afin d'évaluer le comportement des substances dans le sol et l'eau souterraine, des paramètres physico-chimiques pertinents sont évalués pour chacune des substances sélectionnées. La liste complète de ces paramètres recherchés est disponible en Annexe A1. La liste détaille également le comportement évalué par chacun des paramètres.

## Solubilité, volatilité, adsorption

Les paramètres physico-chimiques sont recherchés selon la méthodologie suivante :

- La recherche est effectuée exclusivement via le numéro CAS de la substance ;
- La substance est recherchée via les sources suivantes et selon le même ordre de priorité :
  - Si la substance possède déjà une valeur dans la base de données **PNN**, celle-ci est reprise avec la même source que celle de la base de données PNN ;
  - Dans le livre **Mackay** et al., 2006 ;
  - **ECHA**, les recherches ont été effectuées à la fois sur la nouvelle plateforme "ECHA CHEM" ainsi que sur l'ancienne plateforme "Search for chemicals". L'ancienne plateforme n'étant plus mise à jour depuis le 19 mai 2023, mais la nouvelle plateforme ne contenant pas encore toutes les données.
  - Sur la plateforme **PubChem** ;
  - Sur la plateforme de **l'EPA** ;
  - Sur la plateforme de **l'INERIS**.
- La source consultée est systématiquement indiquée dans la colonne suivante au sein de la base de données ;
- La procédure de recherche des paramètres physico-chimiques dans le livre Mackay est basée sur le protocole de l'ISSEP ("Technical document for the selection of appropriate physical-chemical properties and toxicity values of chemical compounds", septembre 2021) ;
- Les éventuels paramètres associés aux valeurs physico-chimiques (T°, ..) sont indiquées ;
- Lorsqu'aucune valeur n'est retrouvée dans les sources consultées, "No info" est indiquée.

## Produits et voies de dégradation

Des paramètres relatifs aux voies de dégradation des substances (temps de demi-vie, constante de dégradation, et constante de demi-saturation) ont été recherchés selon la méthodologie décrite ci-dessus.

Ces données n'étant pas toujours disponibles (ou pas toujours disponibles pour des matrices sol), un paramètre additionnel de "dégradation rapide" (readily biodegradation) a été recherché afin d'avoir une première indication sur le potentiel de dégradation des substances, dans le cas où cette information ne serait pas déjà disponible de par la présence de la substance sur une liste correspondante (par exemple, liste POP ou substance PBT/vPvB). Ce paramètre a été recherché dans les dossiers d'enregistrement REACH des substances (si disponibles) :

- La substance est recherchée exclusivement par son numéro CAS ;
- Dans les dossiers principaux REACH de **l'ECHA**, disponibles sur la nouvelle plateforme "ECHA CHEM", ainsi que sur l'ancienne plateforme "Search for chemicals".

## 2.3.3 Méthodologie de recherche des paramètres (éco) toxicologiques

### Statut PBT/vPvB et statut PE

Le statut PBT/vPvB (Persistante, Bioaccumulable et Toxique ou très Persistante et très Bioaccumulable), et le statut PE (Perturbateur endocrinien), tels que recherchés lors de l'exercice de présélection, sont également inclus dans la base de données.

### Classification (Phrases H)

La classification des substances selon les phrases de danger du règlement CLP (CE) 1272/2008 a été obtenue à partir la base de données de l'inventaire C&L hébergée par l'ECHA, en suivant la méthodologie décrite pour l'exercice de présélection. À la différence de l'exercice de présélection, la classification complète d'une substance est indiquée dans la base de données (alors que la présélection avait retenu uniquement les classifications CMR et STOT RE).

Les classifications des substances sont répertoriées au moyen de leurs mentions de danger ("phrases H"). La signification des différentes phrases H est reprise dans le Tableau 2-4.

Tableau 2-4 Classifications (éco) toxicologiques et mentions de dangers correspondants

Classification	Catégorie	Code H	Mention de danger
Toxicité aiguë (voie orale)	1, 2	H300	Mortel en cas d'ingestion
	3	H301	Toxique en cas d'ingestion
	4	H302	Nocif en cas d'ingestion
	1, 2	H310	Mortel par contact cutané

Classification	Catégorie	Code H	Mention de danger
Toxicité aiguë (voie cutanée)	3	H311	Toxique par contact cutané
	4	H312	Nocif par contact cutané
Toxicité aiguë (voie inhalatoire)	1, 2	H330	Mortel par inhalation
	3	H331	Toxique par inhalation
	4	H332	Nocif par inhalation
Toxicité par aspiration	1	H304	Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
Corrosion / irritation cutanée	1A, 1B, 1C	H314	Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux
	2	H315	Provoque une irritation cutanée
Sensibilisation cutanée	1A, 1B	H317	Peut provoquer une allergie cutanée
Sensibilisation respiratoire	1A, 1B	H334	Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
Lésion / irritation oculaire	1	H318	Provoque de graves lésions des yeux
	2	H319	Provoque une sévère irritation des yeux
Toxicité spécifique pour certains organes cibles	1	H370	Risque avéré d'effets graves pour les organes
	2	H371	Risque présumé d'effets graves pour les organes
	3	H335	Peut irriter les voies respiratoires
		H336	Peut provoquer somnolence ou vertiges
Mutagène	1A, 1B	H340	Peut induire des anomalies génétiques
	2	H341	Susceptible d'induire des anomalies génétiques
Cancérogène	1A, 1B	H350	Peut provoquer le cancer par inhalation
	2	H351	Susceptible de provoquer le cancer
Toxique pour la reproduction	1A, 1B	H360	Peut nuire à la fertilité ou au fœtus
	2	H361	Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus
	n/a	H362	Peut-être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
Toxicité spécifique pour certains organes cibles	1	H372	Risque avéré d'effets graves pour les organes
	2	H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes
Toxique pour le milieu aquatique (aigu)	n/a	H400	Très toxique pour les organismes aquatiques
Toxique pour le milieu aquatique (chronique)	1	H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
	2	H411	Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
	3	H412	Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
	4	H413	Peut-être nocif à long terme pour les organismes aquatiques
Dangereux pour la couche d'ozone	n/a	H420	Nuis à la santé publique et à l'environnement en détruisant l'ozone dans la haute atmosphère

### Cancérogène (K / NK)

Le caractère cancérogène d'une substance est établi selon la méthode suivante basée sur le protocole PNN (*Procédure pour la sélection des valeurs toxicologiques de référence et la prise en compte du caractère cancérogène d'un polluant*, 2019).

Dans le cas où la substance est indiquée comme « cancérogène pour l'homme » ou « probablement cancérogène pour l'homme » dans au moins une des sources suivantes :

1. IARC ;
2. ECHA European Chemicals ;
3. EPA ;
4. PNN
5. NTP

## 6. OEHHA

Le terme 'K' est indiqué dans la base de données ;

Dans le cas où la substance est jugée « probablement non cancérigène »

- IARC : groupe 3, groupe 4 ;
- USEPA 1986 : groupe D, groupe E ;
- USEPA 2005: “inadequate information to assess carcinogenic potential”, “not likely to be carcinogenic to humans”

Le terme “NK” est indiqué dans la base de données

- Si aucune information n'est retrouvée, le terme « No info » est indiqué.

### Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Pour évaluer la toxicité des substances, des valeurs toxicologiques de référence (VTR) ont été recueillies. Ces valeurs seront utilisées dans la tâche 4 pour effectuer une sélection plus précise des substances à analyser dans le cadre des études de sols (si l'incorporation de ces valeurs s'avère être une valeur ajoutée pour le scoring). La liste exhaustive de ces valeurs, basée sur les trois voies d'exposition (inhalatoire, orale et cutanée), est disponible dans les annexes B2.

Les valeurs toxicologiques de référence sont recherchées selon la méthodologie suivante :

- La recherche est effectuée exclusivement via le numéro CAS de la substance ;
- La substance est recherchée sur base du protocole de l'ISSEP (Procédure pour la sélection des Valeurs toxicologiques de Référence et la Prise en Compte du Caractère cancérigène d'un Polluant, novembre 2019) :
  - Base de données **PNN** ;
  - Base de données **WHO** ;
  - Base de données **EFSA** ;
  - Base de données **EPA IRIS** ;
  - Base de données **HHBP** ;
  - Base de données **ATSDR** ;
  - Base de données **OEHHA** ;
- Lorsqu'aucune valeur n'est retrouvée dans les sources consultées, “No info” est indiquée.

Il est important de noter que seules les sources facilement accessibles ont été utilisées dans le cadre de cette recherche sur les Valeurs toxicologiques de Référence. C'est-à-dire que seules les sources permettant une recherche aisée par numéro CAS, sous forme de bases de données facilement consultables, ont été prises en compte. Les sources reposant sur des recherches bibliographiques (livres, rapports, etc.) moins triviales n'ont pas été consultées, étant donné le grand nombre de substances présélectionnées. Des recherches complémentaires pourraient être réalisées en cas de valeurs ajoutées pour les substances sélectionnées à l'issue de la tâche 4.

## 2.4 Tâche 2 : Identification des activités historiques et actuelles à risque

Dans le cadre de la tâche 2, les activités historiques et actuelles ont été recherchées pour les substances présélectionnées. Ces données sont intégrées dans la base de données ainsi que les sources associées. Les sources consultées sont par défaut le site de l'ECHA ou d'autres documents scientifiques dans le cas où aucune information n'est disponible sur le site de l'ECHA.

De plus, des données supplémentaires ont été recueillies grâce à des échanges au sein du réseau Arcadis, impliquant notamment le Royaume-Uni, les États-Unis et les Pays-Bas. Ces données n'ont pas toujours été intégrées dans la base de données, mais seront examinées dans ce rapport pour chaque famille spécifique, et seront également incluses dans les annexes.

Les sources incluent notamment :

- France
  - **BD ActiviPoll du BRGM** (base de données des corrélations Activités-Polluants – Version 4) : Elle répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés d'après le croisement de diverses sources d'information (bases de données françaises et littérature internationale spécialisée). La fiabilité de la corrélation entre l'activité et le polluant est évaluée à l'aide d'un indice de confiance allant de 1 (faible) à 8 (élevé).
- Pays-Bas
  - Plan national de gestion des déchets (cadre politique LAP3 du ministère de l'Infrastructure et de la Gestion de l'eau) fournit un **inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes »** aux Pays-Bas.

L'occurrence des pollutions, qui fait référence à la fréquence à laquelle des polluants se retrouvent dans l'environnement, liée aux substances sélectionnées a également fait l'objet de recherche dans le cadre de la tâche 2. Les sources consultées de manière générale sont les suivantes, et seront discutées de manière plus précise au sein de chaque famille de polluants respectifs :

- **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690) : projet européen ayant pour objectif d'effectuer un premier screening de la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région wallonne. Environ 200 molécules sont examinées dans le cadre de cette initiative.
- **Biomonitoring spécifique visant à déterminer les niveaux d'imprégnation des riverains des sites des broyeurs à métaux en Wallonie – BIOBRO** (RAP-23-00663, 18 avril 2024) : livrable visant à établir un suivi biologique spécifique pour mesurer les niveaux d'imprégnation des résidents vivant à proximité des broyeurs de métaux en Wallonie.
- **Biomonitoring Humain Wallon (BMH-Wal, Phase I, II et III)** (31 janvier 2025) : ce projet vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s, en tenant compte de 6 catégories d'âge de la population wallonne, face à un panel de polluants et de substances chimiques présentes dans leur environnement.
- **European Human Biomonitoring Dashboard** : données collectées lors du lancement du projet HBM4EU le 30 mars 2021. Ces données sont maintenant intégrées dans le projet PARC, toujours en cours, offrant ainsi la possibilité de visualiser les données de biosurveillance humaine de toute l'Europe. Ce bio monitoring, constamment enrichi de données, est disponible via le lien ci-dessous, offre la possibilité d'accéder à des informations détaillées et de manipuler des données en modifiant les méthodes statistiques : [European Human Biomonitoring Dashboard | VITO HBM](#).
- **Bruxelles environnement** : Bruxelles Environnement met à disposition des données concernant les analyses de sols et d'eaux souterraines (1996 à 2024), ainsi que celles des eaux de surface (2022 à 2024) réalisées dans la région de Bruxelles. Ces résultats sont centralisés sur une plateforme publique. Par ailleurs, les bases de données reçues ont également été analysées dans le cadre de cette recherche.
- **VMM** : La Vlaamse Milieumaatschappij met publiquement à disposition les résultats du monitoring effectué en Flandre sur les eaux (de surface, les sédiments et le biote). Dans le cadre de cette recherche, des bases de données relatives au biote (2021 à 2022) et aux eaux de surface (2019 à 2024) ont été reçues et analysées.

Dans ce rapport prospectif, les données relatives aux activités passées et actuelles, ainsi que l'occurrence de ces pollutions, sont recherchées par substances et synthétisées dans la base de données, ainsi que dans les sections correspondantes du rapport. Ces données seront utilisées pour établir un classement plus précis lors de la tâche 4.

A noter que la recherche de ces molécules sélectionnées dans le cadre des programmes de monitoring a été effectuée en priorité à partir du numéro CAS lorsque celui-ci était disponible. En l'absence de ce numéro, la recherche s'est basée sur le nom de la substance, ce qui pourrait avoir entraîné l'omission de certaines substances

## 2.5 Tâche 3 : Identification et description des méthodes analytiques

Dans le cadre de la tâche 3, des informations sur les méthodes analytiques (au sein de la matrice sol et eau) ont été recherchées pour chaque substance. La méthodologie générale pour cette tâche est la suivante :

- Un premier screening a été effectué en se basant sur les mêmes sources utilisées pour la recherche des paramètres physico-chimiques (en priorisant l'utilisation de la plateforme PubChem). Ces données sont disponibles dans l'Annexe B. Elles comprennent des détails sur les méthodes d'analyse, les matrices utilisées, ainsi que les limites de quantification et de détection dans le sol et l'eau.

**Ensuite, des informations ont été collectées auprès des laboratoires industriels et des documents de coordination des laboratoires en Belgique (Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL))**

- Annexe D1), un document provenant des Pays-Bas (Annexe D2), ainsi qu'une demande directe d'informations adressée aux laboratoires agréés en Wallonie: Alwest, Servaco, Eurofins et SGS. Les détails de la demande par substance sont répertoriés dans les Annexes D3 à D6. Ces informations portent sur divers aspects pour le sol et l'eau, tels que la faisabilité, les méthodes d'analyse, les normes ISO suivies, les paquets d'analyses proposés, les coûts individuels et globaux des analyses, les limites de quantification et de détection, ainsi que la sous-traitance des analyses.
- Enfin, des demandes d'informations ont été adressées au réseau international d'Arcadis, notamment aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et aux États-Unis. Les détails recueillis à partir de ces sources seront intégrés dans le rapport par famille distincte.

## 2.6 Contrôle qualité des données

Pour garantir la qualité des bases de données, un contrôle qualité a été effectué sur l'ensemble de celles-ci selon la méthodologie suivante :

- 30% des données ont été vérifiées
- Répartition du contrôle qualité entre deux personnes (20% pour l'une et 10% pour l'autre)
- Réalisée sur toutes les bases de données des familles de polluants.

## 3 Retardateurs de flamme

### 3.1 Description chimique et classification

#### 3.1.1 Description générale

Les retardateurs de flammes constituent un groupe très large de substances chimiques utilisées pour empêcher ou ralentir la combustion d'un matériel dans lequel ils sont intégrés ou appliqués.

Dans les faits, les retardateurs de flammes sont régulièrement utilisés conjointement (p. ex., les composés bromés peuvent être utilisés ensemble sous forme de « mélanges techniques » (VITO, 2023), l'oxyde d'antimoine est régulièrement utilisé conjointement avec des composés bromés (ECHA, 2023)).

Par ailleurs, certaines de ces substances possèdent également d'autres propriétés pour lesquelles elles peuvent être utilisées. Par exemple, certaines substances sont également utilisées comme plastifiants (ECHA, 2023).

Les retardateurs de flammes sont principalement utilisés dans la production de plastiques (principalement polyester, PVC, époxy, polystyrènes), dans l'industrie du textile (ECHA, 2023 ; MIRA, 2013). Dans l'industrie du plastique, les retardateurs de flammes peuvent être mélangés avec un polymère, ce mélange peut être « additif » ou « réactif ». Les mélanges « additifs » présentent un plus grand risque de diffusion dans l'environnement du matériel traité (VITO, 2023).

Les secteurs clés utilisant la plus grande quantité de matériel ignifugé sont : la production d'équipement électrique et électronique (38% de la demande), le secteur de la construction (28%) suivi des producteurs de véhicules de transport.

Une classification des retardateurs de flamme est proposée dans le document **ECHA. Regulatory strategy for flame retardants. 2023**. Cette classification a été reprise dans le présent rapport :

- Composés halogénés, comprenant :
  - Les composés bromés ;
  - Les composés chlorés.
- Composés phosphorés, principalement les organophosphorés ;
- Composés azotés ;
- Métaux ;
- Composés contenant du bore.

Les retardateurs de flammes les plus largement utilisés au niveau mondial sont les métaux (principalement l'hydroxyde d'aluminium et les oxydes d'antimoine) suivis des composés halogénés et finalement les organophosphorés. À noter que dans le groupe des composés halogénés, on distingue les composés bromés et chlorés. Les composés bromés représentent la plus grande proportion d'utilisation de retardateurs de flammes après celle des métaux.

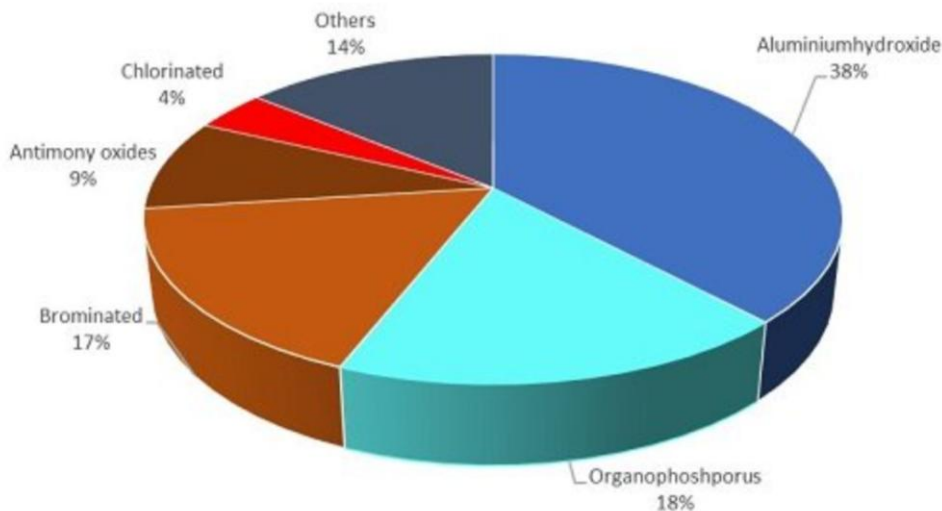


Figure 1 - Demande mondiale en retardateurs de flamme en 2019 (IHS Consulting, 2020)

Sur base des informations retrouvées dans la littérature, les composés bromés les plus utilisés en Belgique (en 2001) étaient respectivement les TBBPA, les HBCDD suivis du DecaBDE (BDE209) (MIRA, 2007).

Les PBB (Biphényles PolyBromés) étaient largement utilisés jusque dans les années 80 avant d'être bannis en Europe. Le decaBDE (BDE 209), les HBCD ont également récemment été régulés en Europe sous la législation POP (ECHA, 2023).

### 3.1.2 Sélection de composés prioritaires

Sur base du document de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA, 2023), une liste de 312 retardateurs de flammes a été établie. Cette liste a été élaborée en se basant sur plusieurs sources, notamment :

- La base de données d'enregistrement de l'ECHA ;
- Les rapports (2021) associés à l'enregistrement de retardateurs de flammes dans la base de données de l'ECHA ;
- Les informations provenant de PLASI initiative41 ;
- La liste de l'EPA concernant les substances identifiées comme retardateurs de flammes.

Il est important de noter que cette liste n'est pas exhaustive. Elle inclut les retardateurs de flammes avec des utilisations connues, ainsi que les molécules ayant des structures chimiques similaires (au cas où leurs utilisations ne seraient pas confirmées). Cependant, elle ne peut être considérée comme exhaustive en raison des défis liés à l'inclusion de tous les composés. La méthodologie de compilation de cette liste est expliquée en détail dans la section 5.1 du rapport de l'ECHA.

À partir de ces 312 substances, le processus de sélection a été appliqué, aboutissant à la présélection de 101 substances parmi les retardateurs de flammes. Les détails de ce processus de sélection sont disponibles dans l'Annexe A2.

## 3.2 Description des activités historiques et actuelles

Comme son nom l'indique, les retardateurs de flammes permettent d'ignifuger divers constituants et d'avoir une plus grande stabilité thermique. Ces substances servent donc à empêcher les incendies ou ralentir leurs propagations.

Les retardateurs de flammes sont principalement utilisés dans des produits devant être ignifugés comme les plastiques, des produits de revêtement, de peintures, solvants, adhésifs ... (ECHA, 2023). Sur base de la littérature, les matériaux sont ensuite utilisés principalement dans les secteurs suivants :

- Industrie du textile et l'ameublement (ECHA, 2023 ; MIRA, 2013). Les retardateurs sont utilisés par exemple dans les matelas, les revêtements de meubles, les rideaux, les revêtements de sol, les vêtements ;

- Électronique et appareils électroniques : Les retardateurs sont utilisés par exemple dans les téléviseurs, ordinateurs ... permettant d'atteindre les normes en termes de sécurité incendie (ECHA, 2023 ; C. Belpaire et al. 2003) ;
- Matériaux de construction : Les retardateurs sont utilisés par exemple dans les revêtements de bâtiments, matériaux d'isolation thermique, peintures gouttières, fenêtres ou encore pour les toitures pour lutter contre les incendies (ECHA, 2023) ;
- Équipements des transports, l'industrie automobile et ferroviaire (EFSA, 2012).
- Usages domestiques : Les retardateurs se retrouvent par exemple dans les produits de lavage et de nettoyage, produits cosmétiques et produits de soins personnels (MIRA, 2007).

Les données recueillies dans ECHA ont été regroupées dans la base de données (Annexe B1 – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Par ailleurs, une recherche a également été effectuée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française) pour les substances sélectionnées. Des informations complémentaires ont pu être obtenues pour 63 retardateurs de flammes présélectionnés dans le cadre de cette étude.

Un fichier PDF issu de la base de données BRGM détaillant les activités à risque spécifique de chaque substance a été inclus en Annexe C1. En se référant à cette matrice, les activités présentant un plus grand potentiel de présence de retardateurs de flammes sélectionnés sont principalement situées dans le secteur manufacturier et dans une moindre mesure dans l'industrie extractive et le secteur de la construction. Ci-dessous un aperçu, classé par numéro CAS, des secteurs présentant le plus de risques associés à ces 63 retardateurs de flammes. Les activités spécifiques au sein de ces différents secteurs d'activités sont détaillées dans l'Annexe C1.

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
boric acid	10043-35-3	Agriculture, chasse, sylviculture et pêche / Commerce de gros (commerce interentreprises) de bois et de matériaux de construction
iron orthophosphate	10045-86-0	Industrie manufacturière / Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution ;
2,2',2"-nitrilotriethanol	102-71-6	Industries extractives / Industrie manufacturière / Construction
1-chloro-2,3-epoxypropane	106-89-8	Industrie manufacturière / Agriculture, chasse, sylviculture et pêche
1,2-Dibromoethane	106-93-4	Industrie manufacturière / Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution
melamine	108-78-1	Industries extractives / Industrie manufacturière / Construction
cyanuric acid	108-80-5	Industrie manufacturière
nonanoic acid	112-05-0	Industrie manufacturière
triphenyl phosphate	115-86-6	Industrie manufacturière
tris(2-chloroethyl) phosphate	115-96-8	Construction
bis(pentabromophenyl) ether (decaBDE)	1163-19-5	Industrie manufacturière
2,4,6-tribromophenol	118-79-6	Industrie manufacturière
disodium octaborate	12008-41-2	Industrie manufacturière / Construction

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
ammonium bromide	12124-97-9	Industrie manufacturière
ammonium chloride	12125-02-9	Industrie manufacturière
C,C'-azodi(formamide)	123-77-3	Industrie manufacturière
diboron trioxide	1303-86-2	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
calcium oxide	1305-78-8	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
diantimony trioxide	1309-64-4	Industrie manufacturière Construction
sodium hydroxide	1310-73-2	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
molybdenum trioxide	1313-27-5	Industrie manufacturière Construction
diphosphorus pentaoxide	1314-56-3	Industrie manufacturière Production et distribution d'eau Assainissement, gestion des déchets et dépollution
disodium tetraborate, anhydrous	1330-43-4	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
aluminium oxide	1344-28-1	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
titanium dioxide	13463-67-7	Industrie manufacturière Construction
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	13560-89-9	Industrie manufacturière
tris[2-chloro-1-(chloromethyl)ethyl] phosphate	13674-87-8	Industrie manufacturière Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles Activités des organisations associatives
barium diboron tetraoxide	13701-59-2	Industrie manufacturière Construction Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles
lauric acid	143-07-7	Industrie manufacturière
1,1'-(isopropylidene)bis[3,5-dibromo-4-(2,3- dibromopropoxy)benzene]	21850-44-2	Industrie manufacturière

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
trixyl phosphate	25155-23-1	Industrie manufacturière
hexabromocyclododecane (HBCDD)	25637-99-4	Industrie manufacturière
2-methyl-2H-isothiazol-3-one	2682-20-4	Industrie manufacturière
potassium 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutane-1-sulphonate	29420-49-3	Industrie manufacturière
diphenyl ether, octabromo derivative (octaBDE)	32536-52-0	Industrie manufacturière Construction Transports et entreposage Activités des organisations associatives
2,2-bis(bromomethyl)propane-1,3-diol (BMP)	3296-90-0	Industrie manufacturière Construction
2,2-dimethylpropan-1-ol, tribromo derivative(TBNPA)	36483-57-5	Industrie manufacturière
calcium carbonate	471-34-1	Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'eau, assainissement, gestion des déchets et dépollution Construction
3-bromophenol	591-20-8	Industrie manufacturière
thiourea	62-56-6	Industrie manufacturière
ammonium nitrate	6484-52-2	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
slags, ferrous metal, blast furnace	65996-69-2	Industrie manufacturière Construction
aluminium	7429-90-5	Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution Construction Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles Transports et entreposage Activités juridiques et comptables Activités de location et location-bail Administration publique et défense Sécurité sociale obligatoire Activités créatives, artistiques et de spectacle Activités des organisations associatives Stockage de produits
silicon	7440-21-3	Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
		Stockage de produits
antimony	7440-36-0	Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné Construction Stockage de produits
bromomethane	74-83-9	Industrie manufacturière
bromoform	75-25-2	Industrie manufacturière Production et distribution d'eau Assainissement, gestion des déchets et dépollution
silicon dioxide	7631-86-9	Industrie manufacturière Construction
orthophosphoric acid	7664-38-2	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
ammonia, anhydrous	7664-41-7	Agriculture, chasse, sylviculture et pêche Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné Production et distribution d'eau Assainissement, gestion des déchets et dépollution Construction Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles Transports et entreposage Activités immobilières Activités juridiques et comptables Activités de location et location-bail Administration publique et défense Sécurité sociale obligatoire Enseignement Activités créatives, artistiques et de spectacle Stockage de produits
phosphorus	7723-14-0	Agriculture, chasse, sylviculture et pêche Industries extractives Industrie manufacturière Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution Construction Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles Transports et entreposage Stockage de produits
bromine	7726-95-6	Industrie manufacturière Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
		Production et distribution d'eau Assainissement, gestion des déchets et dépollution Transports et entreposage
hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	Industrie manufacturière
ammonium sulphamidate	7773-06-0	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
ammonium sulphamidate	7773-06-0	Industrie manufacturière Construction
calcium sulfate	7778-18-9	Industries extractives Industrie manufacturière Construction
triethyl phosphate	78-40-0	Industrie manufacturière
tris(2-butoxyethyl) phosphate	78-51-3	Industrie manufacturière Construction
bromoacetic acid	79-08-3	Industrie manufacturière
2,2',6,6'-tetrabromo-4,4'-isopropylidenediphenol (TBBPA - tetrabromobisphenol A)	79-94-7	Industrie manufacturière Construction
bis(α,α-dimethylbenzyl) peroxide	80-43-3	Industrie manufacturière
alkanes, C14-17, chloro	85535-85-9	Industrie manufacturière Construction
2,3-dibromopropan-1-ol (2,3-DBPA)	96-13-9	Industrie manufacturière
1,3-Dichloro-2-propanol	96-23-1	Industrie manufacturière

Une recherche a également été effectuée dans l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Huit retardateurs de flamme, sélectionnés dans notre étude, sont également répertoriés dans cet inventaire :

- Boric acid (CAS : 10043-35-3) ;
- Hexabromocyclododécane HBCDD (CAS : 25637-99-4) ;
- Tétrabromobisphénol A (TBBPA) (CAS : 201-236-9) ;
- Tris(2-chloroethyl) phosphate (CAS : 204-118-5) ;
- Trixylyl phosphate (CAS : 25155-23-1) ;
- Diboron trioxide (CAS : 1303-86-2) ;
- Bis(pentabromophenyl) ether (decabromodiphenyl ether; DecaBDE) (CAS : 1163-19-5);
- Diazene-1,2-dicarboxamide (C, C'-azodi(formamide)) (CAS : 123-77-3).

Cet inventaire est présenté sous forme d'un tableau Excel fournissant des informations complémentaires sur ces substances extrêmement préoccupantes, on retrouve notamment des détails sur leur utilisation et secteurs d'application, les quantités ou encore les limites de quantification. Dans le cadre de cette étude, un document PDF a été créé contenant les caractéristiques des huit retardateurs de flamme présents à la fois dans l'inventaire et dans notre sélection. Ce fichier PDF est attaché en Annexe C2, en plus du rapport approuvé.

Par ailleurs, des données complémentaires issues d'études de sol menées en Wallonie nous ont été transmises. Certains retardateurs de flammes, figurant dans notre sélection, ont été identifiés dans des types d'activités spécifiques en Wallonie. Parmi eux, on retrouve :

- TCPP (CAS : 13674-84-5) : identifié dans une industrie de chimie organique ;
- Bromométhane (CAS : 74-83-9) : détecté dans une industrie chimique, lié à la production de produits de nettoyage ;
- Bromoforme (CAS : 75-25-2) : identifié dans des dossiers d'industries chimiques (4), une centrale électrique (1) et des centres de traitement de déchets (2) ;
- Dibromoéthane (CAS : 106-93-4) : retrouvé dans des industries chimiques (6 dossiers) ;
- Mélamine (CAS : 108-78-1) : trouvée dans une industrie chimique (1 dossier) ;
- Acide nonanoïque (CAS : 112-05-0) : trouvée dans une industrie chimique (1 dossier).

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des retardateurs de flammes : industrie manufacturière, extractive, et de la construction. Notamment dans des activités telles que la chimie, la production ou le traitement du textile, des plastiques, des peintures et revêtements. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des retardateurs de flammes dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus, c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

### 3.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les retardateurs de flammes a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Les données pour **la Région Wallonne** ne sont pas disponibles publiquement. M. Thomas Lambrechts nous a informés qu'une étude impliquant les retardateurs de flammes est en cours pour une industrie textile. Les composés BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183 et 209 ont été analysés pour 2 échantillons d'eau souterraine. Aucun dépassement de norme n'a été mesuré.

Par ailleurs, des données complémentaires issues d'études de sol menées en Wallonie nous ont été transmises. Certains retardateurs de flammes, figurant dans notre sélection, ont été identifiés en Wallonie. Parmi eux, on retrouve :

- TCPP (CAS : 13674-84-5) : quantifié dans 1 dossier ;
- Antimoine (CAS : 7440-36-0) et aluminium (CAS : 7429-90-5) : quantifiés dans plusieurs dossiers ;
- Bromométhane (CAS : 74-83-9) : analysé dans un dossier, mais non quantifié ;
- Bromoforme (CAS : 75-25-2) : analysé dans 6 dossiers ;
- Dibromoéthane (CAS : 106-93-4) : analysé dans 6 dossiers, mais non quantifié ;
- Mélamine (CAS : 108-78-1) : analysé dans un dossier ;
- Acide nonanoïque (CAS : 112-05-0) : analysé dans un dossier ;
- Phosphore (CAS : 7723-14-0) : quantifiés dans de nombreux dossiers.

De plus, en se basant sur le **bio monitoring (BIOPRO)** qui analyse les niveaux d'imprégnation des riverains habitant à proximité de sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024), 7 polybromodiphényléthers ont été examinés. Parmi eux, 5 n'ont pas été détectés, à savoir le PDBE-28, -99, -100, -154, et -183. En revanche, le PBDE47 et -153 ont été mesurés en très faibles quantités, de 1,7 à 0,9 ng/g.lip, respectivement dans 27% et 8,7% des échantillons. Malgré la détection de ces deux derniers, l'étude n'a pas observé de différences significatives entre les deux groupes d'adolescents analysés, concluant à l'absence de variation significative (pour les PDBEs) en fonction de la proximité d'un broyeur de métaux dans leur lieu de vie. Ce biomonitoring est disponible en Annexe C3.

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région Wallonne et Bruxelles-capital, des données ont été collectées concernant les retardateurs de flammes dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP. Une recherche a été établie entre les données de ce biomonitoring et les retardateurs de flammes sélectionnés pour notre étude. Deux substances étudiées, le Tétrabromobisphénol A / TBBPA (CAS : 79-94-7) et le Triphényl phosphate (CAS : 115-86-6), ont été mesurées dans le cadre de ce suivi.

- Le TBBPA a été détecté dans les eaux de surface de la Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 5 ng/l, mais n'a jamais été trouvé dans les eaux de surface de la Région de Bruxelles-Capitale. En ce qui concerne le

Triphényl phosphate, sa concentration maximale a atteint 32 ng/l (avec une moyenne de 6 ng/l) dans les eaux de surface wallonnes, sans être détecté dans les eaux de surface de la région bruxelloise.

- Dans les eaux potabilisables, le Triphényl phosphate a été mesuré en Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 32 ng/l, avec une moyenne de 1 ng/l. Pour le TBBPA, la concentration maximale mesurée a été de 15 ng/l, avec une moyenne de 0,2 ng/l.
- Dans les eaux souterraines, le Triphényl phosphate a été relevé en Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 32 ng/l, avec une moyenne de 1 ng/l, sans être détecté à Bruxelles-Capitale. Concernant le TBBPA, une concentration maximale de 15 ng/l, avec une moyenne de 0 ng/l en Wallonie a été mesurée, et il n'a jamais été détecté en région bruxelloise.
- Dans les rejets des stations d'épuration des eaux usées, le TBBPA n'a jamais été détecté ni en Wallonie ni à Bruxelles-Capitale. En revanche, le Triphényl phosphate a été mesuré à des concentrations maximales de 74 ng/l, avec des moyennes de 20,1 ng/l, tant en Wallonie qu'à Bruxelles-Capitale.

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexes C4.

Les retardateurs de flamme n'ont pas fait l'objet du **bio monitoring (BMH-Wal)** qui vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (au niveau du canal, de la Senne et de Woluwe) : Sur base des données disponibles dans le rapport « Emerging substances – 30104185 Arcadis 2022 », le retardateur de flamme bromé HBCDD (n° CAS : 25637-99-4) a été analysé dans les eaux de surface à 166 reprises à Bruxelles. 22% des analyses se relevaient être au-dessus de la limite de détection. Ces analyses ont été prises à diverses reprises entre septembre 2014 et avril 2015, révélant des concentrations allant de 670 µg/L (le 24/09/2014) à 2270 µg/L (le 23/09/2014).
- Dans les eaux de surface, sur base de la liste des résultats 2022 à 2024 (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le retardateur de flamme 1,2-dibromoéthane (CAS : 106-93-4) a été analysé à 31 reprises entre 2022 et 2024, conformément à la méthode d'analyse « NF EN ISO 10301 ». Les concentrations mesurées en 1,2-dibromoéthane étaient toutes inférieures à 0,5 µg/L (seuil de détection). De plus, le PBDE100 a été analysé à trois reprises, montrant des concentrations de <0,00015 µg/L (seuil de détection).
- Dans le sol et l'eau souterraine : D'après les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse concernant les retardateurs de flamme n'a été effectuée. Les retardateurs de flamme étudiés dans notre étude n'ont pas encore été analysés à Bruxelles dans les analyses de sol et d'eau souterraine.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les sédiments et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres. Sur base de cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas mesurées dans les eaux souterraines. Une recherche a été effectuée entre la base de données relative au « biote » et aux « eaux de surface ».

- Dans le biote, les résultats obtenus sont les suivants :
  - gHBCD (CAS : 134237-52-8) : 61 échantillons analysés, avec une concentration moyenne de 1,04 µg/kg ng. Les valeurs varient entre un minimum de 0,1 µg/kg ng et un maximum de 3,68 µg/kg ng.
  - HBCD (CAS : 25637-99-4) : 93 échantillons analysés, avec une concentration moyenne de 10,72 µg/kg ng. Les concentrations vont de 0,20 µg/kg ng (min) à 49 µg/kg ng (max).
  - aHBCD (CAS : 134237-50-6) : 75 échantillons analysés, avec une concentration moyenne de 5,71 µg/kg ng. Les valeurs mesurées s'échelonnent entre 0,1 µg/kg ng (min) et 32,35 µg/kg ng (max).
  - bHBCD (CAS : 134237-51-7) : 57 échantillons analysés, avec une concentration moyenne de 0,81 µg/kg ng. Les concentrations varient entre un minimum de 0,05 µg/kg ng et un maximum de 2,05 µg/kg ng.
- Dans les eaux de surfaces, les résultats obtenus sont les suivants :
  - Aluminium (CAS : 7429-90-5) : 70 échantillons ont été analysés pour cette substance. La concentration moyenne mesurée sur ces échantillons est de 1270,57 µg/L. Avec des concentrations minimales de 260 µg/L, et des concentrations maximales de 8000 µg/L.

- Antimoine (CAS : 7440-36-0) : 143 échantillons ont été analysés pour cette substance. La concentration moyenne mesurée sur ces échantillons est de 0,94 µg/L. Avec des concentrations minimales de 0,5 µg/L, et des concentrations maximales de 4,8 µg/L.

Pour des informations détaillées sur l'occurrence et les concentrations mesurées de ces retardateurs de flamme dans le biote et les eaux de surface en Flandre, veuillez vous référer à l'Annexe C7.

À noter qu'une proposition de norme d'assainissement a été faite en Région Flamande pour le composé BDE 209 (VITO, 2023). Selon les informations communiquées par l'OVAM, sur 50 échantillons de sol (0-20cm) prélevés homogènement sur tout le territoire flamand, 20 échantillons (soit 40%) présentaient des concentrations au-delà de la limite de quantification (0,5 µg/kg ds).

L'occurrence des pollutions à l'international a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du biomonitoring "European Human Dashboard", 7 retardateurs de flammes sélectionnés dans notre étude, ont également fait l'objet de recherche au sein de ce bio monitoring. On retrouve, notamment, le :

- Polybrominated Diphenylether 209 (BDE-209)
- 2,4,6-Tribromophenol
- Decabromodiphenylethane (DBDPE)
- Hexabromocyclododecane alpha (HBCD $\alpha$ )
- Hexabromocyclododecane gamma (HBCD $\gamma$ )
- Tetrabromobisphenol A (TBBPA)
- Hexabromocyclododecane (HBCD)

Parmi eux, seul le Polybrominated Diphenylether (BDE-209) a été mesuré avec des valeurs significatives. En 2015, sa concentration dans le sang a atteint 0,02950 µg/L en France.

À noter que d'autres retardateurs de flammes non présélectionnés dans notre étude ont également été détectés avec des valeurs significatives lors de ce biomonitoring.

Des graphiques inclus en Annexe C6 permettent de visualiser les résultats des mesures sur les retardateurs de flammes dans ce biomonitoring, couvrant les mesures dans l'urine (en µg/L) et dans le sang (µg/L). Ces graphiques présentent la médiane de la distribution statistique (P50) en fonction du type de retardateurs de flammes et de l'année d'échantillonnage. Ces différents graphiques sont disponibles aux annexes suivantes:

- Annexe C6: "P50 value log axis of substance: Flame retardants / biomarker: All concentration in Urine (µg/L) stratified by Year of sampling";
- Annexe C6: "Overview of percentile P50 for substance: Flames retardants / biomarkers: All in Urine (µg/L);
- Annexe C6: "P50 value log axis of substance: Flame retardants / biomarker: All concentration in Blood (µg/L) stratified by Year of sampling";
- Annexe C6: "Overview of percentile P50 for substance: Flames retardants / biomarkers: All in Urine (µg/L).

Via le lien suivant, il est également possible d'accéder à d'autres informations et de manipuler les données en modifiant les méthodes statistiques : [European Human Biomonitoring Dashboard | VITO HBM](#).

En conclusion, les données recueillies dans le cadre de cette étude portent sur les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
BDE 21 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Bio monitoring (BIOPRO)
BDE 28 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS

Nom de la substance	N°CAS	Source
BDE 47 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO)
BDE 99 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO)
BDE 100 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO) Bruxelles Environnement
BDE 153 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO)
BDE 154 (présent en majorité dans le pentaBDE)	32534-81-9 (84852-53- 9)	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO)
BDE 183 (présent en majorité dans l'octaBDE)	32536-52-0	Transmis par la DAS Bio monitoring (BIOPRO)
Bis(pentabromophenyl) ether (decaBDE) - BDE 209	1163-19-5	Transmis par la DAS VVM Bio monitoring «European Human Dashboard »
TBBPA	79-94-7	Programme de recherche BioDiEn Bio monitoring «European Human Dashboard »
Triphényl phosphate	115-86-6	Programme de recherche BioDiEn
Flamme 1,2-dibromoéthane	106-93-4	Bruxelles Environnement Études de sol Wallonie
HBCD	25637-99-4	Bio monitoring «European Human Dashboard » VVM Bruxelles Environnement
gHBCD	134237-52-8	VVM
aHBCD	134237-50-6	VVM
bHBCD	134237-51-7	VVM
Aluminium	7429-90-5	VVM Études de sol Wallonie
Antimoine	7440-36-0	VVM Études de sol Wallonie
2,4,6-Tribromophenol	118-79-6	Bio monitoring «European Human Dashboard »
Decabromodiphenylethane (DBDPE)	84852-53- 9	Bio monitoring «European Human Dashboard »
TCPP	13674-84-5	Études de sol Wallonie
Bromométhane	74-83-9	Études de sol Wallonie

Nom de la substance	N°CAS	Source
Bromoforme	75-25-2	Études de sol Wallonie
Mélamine	108-78-1	Études de sol Wallonie
Acide nonanoïque	112-05-0	Études de sol Wallonie
Phosphore	7723-14-0	Études de sol Wallonie

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

### 3.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 101 retardateurs de flamme retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annex B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille de retardateurs de flamme, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances est également discuté.

Puisque l'exercice de présélection a été réalisé sur le caractère préoccupant de certains de ces critères (par exemple, le caractère persistant, bioaccumulable ou toxique des substances), certains profils majoritaires qui ressortent dans l'analyse des données récoltées sont naturellement influencés par cette présélection. Pour contrebalancer cet effet, une description plus générale des sous-groupes de retardateurs de flamme est également fournie dès que possible (sur base de littérature scientifique ou du descriptif général des sous-groupes réalisé par l'ECHA).

Vu la grande diversité (chimique et structurelle) des substances utilisées en tant que retardateurs de flammes, les profils de ces substances sont discutés ci-après selon les sous-groupes majeurs, tels que définis dans le rapport de l'ECHA (ECHA, 2023).

#### Retardateurs de flamme halogénés

- **Bromés** : Le groupe des bromés reprend des substances aromatiques et aliphatiques, et cette différence de position du brome dans la molécule se traduit par une différence dans le profil (éco) toxicologique des substances. Dans son rapport de 2023, l'ECHA indique que le groupe des bromés aromatiques se caractérise par une tendance à persister dans l'environnement. La majorité des substances bromées aromatiques sont également soupçonnées d'être bioaccumulables et/ou toxiques (la bioaccessibilité des substances diminuant généralement avec l'augmentation de la masse moléculaire et la diminution de la solubilité). Le caractère préoccupant du groupe de bromés aromatiques est donc sa tendance à présenter un profil PBT ou vPvB. Dans le cas des bromés purement aliphatiques, le profil des substances est plus diversifié. Le caractère persistant et lipophile des retardateurs de flammes halogénés est également décrit dans la littérature (MIRA, 2013).

Cette caractérisation est reflétée dans les paramètres récoltés dans la base de données. En effet, un grand nombre de retardateurs de flammes bromés aromatiques sont repris sur la liste PBT/vPvB, et certains sont sur la liste POP. Pour les substances qui possèdent un dossier REACH, le paramètre de « dégradation rapide » recherché dans les dossiers d'enregistrement indique également que les substances ont une tendance à persister dans l'environnement (aucune substance n'est identifiée comme « ready dégradable »). Le paramètre log Kow soutient également le potentiel de ces substances à s'accumuler dans les organismes vivants et dans les chaînes alimentaires (une majorité de substances présentent un log Kow >

4.5). Une majorité des substances ont une faible solubilité démontrant une tendance à s'adsorber à la matière organique du sol ( $\log K_{oc} > 3$ ). Au niveau (éco) toxicologique, le groupe des bromés reprend plusieurs substances identifiées (ou suspectées) perturbateurs endocriniens, et quelques substances sont également classifiées de cancérigène ou reprotoxiques.

Les substances bromées aliphatiques retenues dans la présélection sont majoritairement plus petites, et présentent une solubilité élevée. À l'inverse des aromatiques, elles ont des valeurs de  $\log K_{ow} < 3$  et présentent un profil (très) mobile (avec des  $\log K_{oc}$  entre 1.02 et 2.20). Leur profil toxicologique est plus varié, la plupart présentant une toxicité pour le milieu aquatique à long terme et certaines étant également classifiées de cancérigènes.

- **Chlorés:** Les retardateurs de flamme chlorés repris dans la base de données ont été retenus dans l'exercice de présélection sur base de leur profil PBT/vPvB. Ces substances sont toutes persistantes (aucune n'est identifiée en tant que "ready biodegradable"), bioaccumulables (comme soutenu par les valeurs  $\log K_{ow} > 4.5$ ), avec une faible solubilité et volatilité. Seules deux substances retenues se distinguent de ces caractéristiques, puisqu'elles ne sont pas répertoriées en tant que PBT/vPvB, mais ont été retenues sur base de leur classification cancérigène (CAS 96-23-1; CAS 106-89-8).

### Retardateurs de flamme organophosphorés

Dans son rapport, l'ECHA distingue les retardateurs de flamme organophosphorés des retardateurs de flamme halogénés car leur profil est plus diversifié selon les sous-groupes étudiés. Les tendances qui ressortent pour les différents sous-groupes d'organophosphorés sont davantage axées sur un profil toxicologique commun, alors que les retardateurs de flamme halogénés présentent aussi un profil persistant et bioaccumulable qui est généralement commun à la plupart des substances du groupe.

- **Triphenyl phosphates :** L'ECHA indique que les membres de ce sous-groupe se distinguent par leur profil reprotoxique, et potentiellement perturbateur endocrinien. En général, les triphenyl phosphates ne sont pas identifiés en tant que substances PBT ou vPvB, et leur caractère préoccupant vient donc principalement de leur profil (éco) toxicologique.  
Parmi les substances du groupe triphenyl phosphate retenues dans la base de données, deux d'entre elles (CAS 25155-23-1; CAS 68937-41-7) sont reprises sur la liste PBT/vPvB, mais pour l'une l'évaluation par le groupe d'experts est restée sans conclusion (en l'absence de données additionnelles), alors que l'évaluation de la seconde substance est toujours en cours et son statut PBT/vPvB n'est pas encore confirmé. Toutefois, l'ensemble des substances présente un  $\log K_{ow} > 4.5$ , ce qui pourrait indiquer une propension à se bioaccumuler. Les substances du groupe présentent un profil de dégradation variable, mais ont une faible solubilité (0.02 - 1.9 mg/L) et faible pression de vapeur, et ne présentent pas un caractère mobile ( $\log K_{oc} > 3$ ). Le profil toxicologique des substances du groupe démontre en effet des classifications reprotoxiques (et STOT RE) pour la plupart des substances, et deux d'entre elles sont également retenues en tant que perturbateurs endocriniens. Toutes les substances sont également classifiées comme très toxiques pour les organismes aquatiques et entraînant des effets néfastes à long terme (H410), ce qui souligne également le caractère particulièrement toxique des substances pour l'environnement.
- **Trialkyl phosphates :** Dans son rapport, l'ECHA indique que les membres du groupe trialkyl phosphates ont un potentiel perturbateur endocrinien qui dépend de la longueur de leur chaîne carbonée. À ce jour, aucune des deux substances (CAS 74-40-0; CAS 78-42-2) retenues dans la base de données n'est reprise en tant que perturbateur endocrinien sur les listes de l'ECHA. Par ailleurs, ces deux substances ne présentent pas non plus un profil (éco) toxicologique extrêmement préoccupant sur base des classifications actuellement indiquées dans l'inventaire C&L de l'ECHA. En effet, ces substances ont été retenues dans l'exercice de présélection sur base de leur présence dans des listes réglementaires. En ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques principales des deux substances, aucune tendance claire n'est visible (probablement car les deux substances ont des longueurs de chaînes carbone très différentes, qui influent sur leurs caractéristiques physico-chimiques).
- **Chlorinated trialkyl phosphates :** L'ECHA souligne que tous les membres de ce groupe sont caractérisés par leur profil cancérigène. Les substances présentent d'autres dangers également, mais qui ne sont pas communs à toutes les substances du groupe.  
Cette description est également reflétée dans les paramètres récoltés dans la base de données. En effet, l'ensemble des substances présentent la classification H351 (sauf une (CAS 13674-84-5), ce qui s'explique car l'autoclassification fournie par le groupe de déclarants majeurs n'inclut pas le H351, alors qu'elle se

retrouve bien dans le second groupe de déclarants). Certaines substances du groupe présentent également une classification reprotoxique ou toxique pour le milieu aquatique à long terme. Une des substances est également sous évaluation pour son potentiel perturbateur endocrinien. Parmi le groupe de substances, le caractère persistant ressort (aucune substance n'est "ready biodegradable"). Les substances présentent également une solubilité généralement élevée et une faible pression de vapeur, et la plupart de substances présentent un profil mobile ( $\log K_{oc} < 3$ ). Sur base des valeurs  $\log K_{ow} < 4.5$ , il est peu probable que les substances s'accumulent dans les organismes vivants.

- **Tetrahydroxymethyl and tetraalkyl phosphonium salts** : Le rapport de l'ECHA indique que les membres de ce groupe sont caractérisés par leur potentiel à être des substances reprotoxiques. Une seule substance de ce sous-groupe a été retenue dans la présélection (CAS 5556-30-8), et elle est effectivement classée en tant reprotoxique (H361). Additionnellement, la substance est également toxique pour le milieu aquatique à long terme (H411). Le dossier REACH de la substance indique qu'elle n'est pas rapidement dégradable, mais pourrait tout de même se dégrader en fonction des conditions environnementales ("inherently degradable"). La substance est fortement soluble dans l'eau, a une faible pression de vapeur, un profil mobile ( $\log K_{oc} < 3$ ) et n'a pas une propension à se bioaccumuler ( $\log K_{ow}$  négatif).
- **TBEP** : Le TBEP (CAS 78-51-3) est l'unique membre de son sous-groupe identifié comme retardateur de flammes, et l'ECHA souligne que la substance pourrait présenter un potentiel perturbateur endocrinien (bien qu'elle ne soit pas encore sur la liste de perturbateurs endocriniens à ce jour). La substance est indiquée comme "ready biodegradable" dans son dossier d'enregistrement REACH, et n'est donc pas persistante dans l'environnement. Sur base de son  $\log K_{ow} < 4.5$ , la substance n'est pas bioaccumulable. Elle n'est pas volatile, présente une solubilité relative et un profil mobile ( $\log K_{oc} < 3$ ).
- **Organic phosphonic acids, salts and esters** : L'ECHA qualifie ce groupe de substances de potentiellement reprotoxique, mutagène et neurotoxique (STOT RE), et met un point d'attention sur le potentiel caractère mobile de ces substances, pour lequel des investigations additionnelles sont requises.

Dans la base de données, la classification H360 (reprotoxique) ressort effectivement pour les substances de ce groupe, et pour l'une d'entre elles également une classification cancérogène et mutagène. Les substances ont un profil persistant, avec une solubilité élevée et faible volatilité. Sur base du paramètre  $\log K_{oc}$ , elles démontrent en effet une tendance à être très mobiles dans l'environnement ( $\log K_{oc} < 2$ ). Les valeurs  $\log K_{ow}$  négatives ou  $< 1$  des substances du groupe sont indicatives d'une faible capacité à se bioaccumuler.

### Composés azotés

En ce qui concerne les composés azotés, l'ECHA a principalement mis l'accent sur certaines classifications toxicologiques préoccupantes dans ce groupe (par exemple, avec une proposition de classification harmonisée pour le caractère cancérogène et STOT RE pour le groupe des dérivés de triazinetrione et triazinetriamine, ou en investiguant le caractère potentiellement reprotoxique et perturbateur endocrinien des thioureas).

Les substances azotées retenues dans la base de données sont majoritairement persistantes (sauf une, CAS 102-71-6) et présentent une solubilité généralement élevée. À l'exception de quelques substances, la plupart des membres du groupe ont un profil mobile ( $\log K_{oc} < 3$ ) et une faible tendance à se bioaccumuler ( $\log K_{ow} < 3$  pour l'ensemble de substances retenues). Une des substances du groupe est sous évaluation pour son profil perturbateur endocrinien (CAS 108-78-1), et les principales classifications retrouvées dans le groupe sont pour le caractère cancérogène, reprotoxique ou STOT RE. Quelques substances sont également classifiées comme (très) toxiques pour le milieu aquatique (H410 ou H411), mais ce n'est pas le cas pour toutes les substances du groupe.

### Retardateurs de flamme inorganiques

Les substances inorganiques sont considérées à part puisqu'un grand nombre de principes qui régissent le devenir dans l'environnement des substances organiques ne sont pas applicables (ou pas de la même manière) aux substances inorganiques.

Pour les **borates inorganiques**, l'ECHA met en avant une proposition de classer l'ensemble des substances du groupe en tant que reprotoxiques au moyen d'une classification harmonisée. Dans la base de données, la majorité des substances dans le groupe des borates présente en effet une classification

H360/H361, ce qui semble être la préoccupation principale de ces substances puisqu'elles ne sont souvent pas classifiées pour d'autres dangers.

De manière générale, les composés inorganiques repris dans la base de données présentent des profils variables, sans tendance générale. L'ECHA souligne en particulier pour les **composés d'antimoine** un potentiel profil cancérigène sur base de la classification appliquée au trioxyde d'antimoine (CAS 1309-64-4), et qui pourrait être considérée pour l'ensemble du groupe.

Certains paramètres récoltés dans la base de données n'ont pas été discutés spécifiquement ci-dessus, mais sont disponibles dans l'Annex B1.

Par exemple, sur base de la densité, une analyse de **l'écoulement vertical du fluide** peut être réalisée. La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les retardateurs de flammes sélectionnés ont une densité plus élevée que l'eau ce qui induit un écoulement vertical. Seuls les composés suivants possèdent une densité inférieure à celle de l'eau signifiant que ce composé restera en surface d'une masse d'eau :

- TBBA (CAS : 21850-44-2)
- Tris(2-ethylhexyl) phosphate (CAS : 78-42-2)
- Barium diboron tetraoxide (CAS : 13701-59-2)
- Nonanoic acid (CAS : 112-05-0)
- 1,1'-(1,1,2,2-tetramethylethylene) dibenzène (CAS : 1889-67-4)
- Barium diboron tetraoxide (CAS : 13701-59-2)
- Nonanoic acid (CAS : 112-05-0)
- 1,1'-(1,1,2,2-tetramethylethylene) dibenzene (CAS : 1889-67-4)
- Ammoniac (CAS: 7664-41-7)
- Nitrogen trifluoride (CAS : 7783-54-2)
- Perkadox 14 (CAS : 25155-25-3)
- Perkadox 14 (CAS : 25155-25-3)
- Priolube "n" / Uniflex "n" (CAS : 68334-05-4)

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces retardateurs de flamme ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient être utilisées pour la tâche 4.

### 3.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les retardateurs de flamme sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, la méthode la plus largement utilisée est la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse voire spectrométrie de masse en tandem (*PubChem, s.d.*). Pour certaines substances, d'autres méthodes d'analyses peuvent être utilisées. Par exemple pour l'HBCDD, la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse peut être envisagée (*Jans U., 2016*) ce qui permettrait d'obtenir une valeur de limite de détection inférieure et de limiter le prétraitement de l'échantillon.

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

BROUILLON

Annexe D1.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'US EPA) et est disponible en Annexe D7.

## 4 Bisphénols

### 4.1 Description chimique et classification

#### 4.1.1 Description générale

Les bisphénols sont un ensemble de composés organiques contenant deux groupes phénols. Parmi eux, le bisphénol A (BPA) et le bisphénol S (BPS) sont les plus connus. Cette famille regroupe de nombreuses substances ayant des structures chimiques et des applications similaires.

Certains bisphénols (par exemple BPA) sont déjà reconnus comme des perturbateurs endocriniens, tandis que d'autres (par exemple B, C et S) sont fortement suspectés de l'être. Leur impact potentiel inclut des effets négatifs sur la fertilité, des perturbations du système hormonal chez les humains et les animaux, ainsi qu'un risque accru d'allergies cutanées. De plus, les bisphénols sont associés à de graves lésions oculaires, des irritations des voies respiratoires et une toxicité pour les organismes aquatiques.

Les principales applications des bisphénols concernent la production de résines et de polymères, en particulier les polycarbonates et les résines époxy, qui sont ensuite utilisés pour fabriquer divers matériaux plastiques. Ces substances se retrouvent ensuite dans divers objets du quotidien, tels que la vaisselle en plastique réutilisable, les emballages alimentaires, les bouteilles en plastique, les boîtes de conserve, les textiles, le papier thermosensible ou encore les peintures.

Les quantités de bisphénols produites en Europe varient selon le type de composé. En 2005, la production de BPA, le plus couramment utilisé, était estimée à 1,6 million de tonnes par l'association Plastics Europe<sup>13</sup> (2007) (INERIS Bisphénol-A, s.d.). Ce chiffre est cohérent avec celui publié par le rapport d'évaluation des risques de la Commission européenne (2008a) : 1,15 million de tonnes de BPA/an (INERIS Bisphénol-A, s.d.). Alors qu'en 2014, la production et l'importation de BPS étaient estimées par l'ECHA à un volume annuel compris entre 1 000 et 10 000 tonnes.

#### 4.1.2 Sélection de composés prioritaires

Sur base de la documentation consultée, incluant le site de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) ainsi que le site de l'Institut National De L'environnement Industriel Et Des Risques (INERIS), une liste comprenant 105 bisphénols a été établie. À partir de ces 105 substances, le processus de sélection a été appliqué, aboutissant à la présélection de 20 substances parmi les bisphénols. Les détails de ce processus de sélection sont disponibles dans l'Annexe A2.

### 4.2 Description des activités historiques et actuelles

Les bisphénols sont principalement utilisés pour deux types d'application : la fabrication de polycarbonates et de résines époxy. Ainsi que dans une moindre mesure, dans la fabrication de polyesters et de papiers thermiques (INERIS, 2015). Ces matériaux de base sont ensuite employés dans différents secteurs. Puis retrouvés dans divers objets du quotidien, tels que les emballages alimentaires, les bouteilles de boissons, les vêtements, les CD et DVD, les boîtes de conserve, les peintures, ainsi que dans divers additifs pour les papiers thermiques (tickets de caisse et les reçus bancaires). On retrouve notamment une large partie des Bisphénols de manière plus spécifiques dans les secteurs suivants (tels que représentés à la Figure 2 et Figure 3).

#### Polycarbonates

- Secteur du média optique : notamment dans la production de CD et DVD, éclairage, optique ;
- Secteur électrique et électronique : notamment dans la production des films pour l'électrophotographie, bobines, porte-balais, circuits imprimés et intégrés, connecteurs, piles à combustible ;
- Secteur de la construction et de l'assemblage : notamment dans l'assemblage de téléphone portable ;
- Secteur de l'automobile : notamment dans la fabrication de pièces de carburateurs ou cages de roulement ;
- Production de bouteilles et d'emballage ;
- Secteur médical et de la santé : notamment dans la production d'instruments de laboratoires, de médecine.

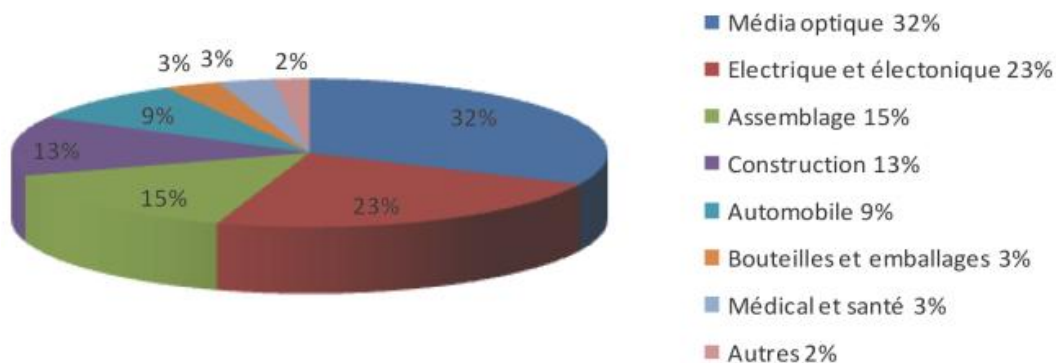


Figure 2 - Répartition des secteurs d'utilisation des polycarbonates fabriqués sur base du BPA (Plastics Europe (2007) : <https://substances.ineris.fr/substance/80-05-7>)

### Résines époxydes

- Secteur du revêtement (notamment dans l'alimentaire, automobile, maritime, ...)
- Secteur électrique et électronique (notamment dans la production de composites structurants ou encore semi-conducteurs) ;
- Secteur du génie civil ;
- Dans le processus de photo cure notamment pour les peintures, encres et résines photosensibles.
- 
- 

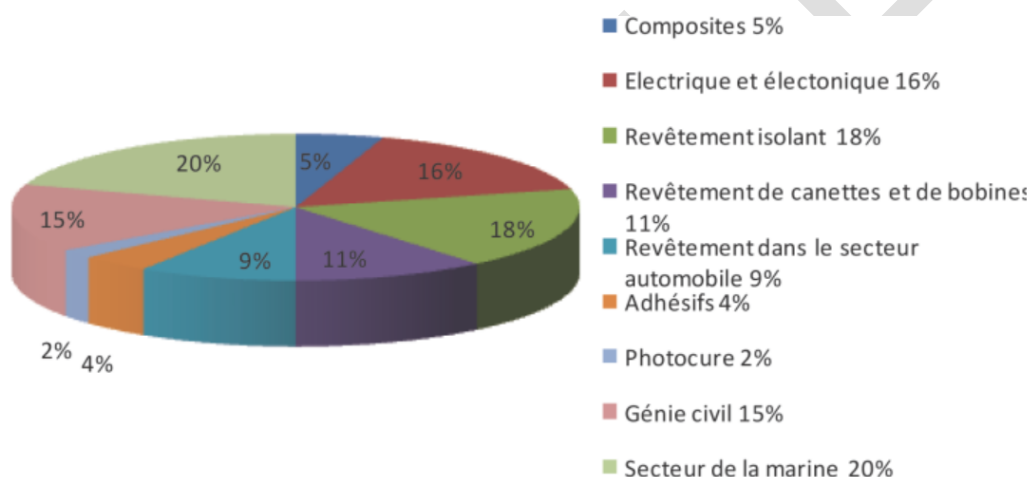


Figure 3 - Répartition des secteurs d'utilisation des époxydes fabriqués sur base du BPA (Plastics Europe (2007) : <https://substances.ineris.fr/substance/80-05-7>)

Les données recueillies dans ECHA ont également été regroupées dans la base de données (Annexe B – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Par ailleurs, une recherche a également été effectuée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française) pour les substances sélectionnées. Des informations complémentaires ont pu être obtenues pour 4 bisphénols présélectionnés dans le cadre de cette étude.

Un fichier PDF issu de la base de données BRGM détaillant les activités à risque spécifique de chaque substance a été inclus en Annexe C1. En se référant à cette matrice, les activités présentant un plus grand potentiel de présence de bisphénols sélectionnés sont principalement situées dans le secteur manufacturier et dans une moindre mesure dans l'industrie extractive et le secteur de la construction et du transport. Ci-dessous un aperçu, classé par numéro CAS, des secteurs présentant le plus de risques associés à ces 4 bisphénols. Les activités spécifiques au sein de ces différents secteurs d'activités sont détaillées dans l'Annexe C1.

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
1,3-bis(2-(4-hydroxyphényl)-2-propyl)benzène	13595-25-0	Industrie manufacturière
2,2'-[(1-méthylethylidène)bis(4,1-phenyleneoxyméthylène)]bisoxirane	1675-54-3	Industrie extractive Industrie manufacturière Construction
2,2-bis(4-hydroxyphényl)propane	80-05-7	Industrie manufacturière Construction Transport et entreposage
bis(4-hydroxyphényl)sulfone	80-09-1	Industrie manufacturière

Une recherche a également été effectuée dans l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Deux bisphénols, sélectionnés dans notre étude, sont également répertoriés dans cet inventaire :

- 2,2-bis(4-hydroxyphényl) propane (BPA) (CAS: 80-05-7);
- 2-METHYL -2-PROPENOIC ACID, POLYMER WITH (CHLOROM) (CAS: 92-67-1).

Cet inventaire est présenté sous forme d'un tableau Excel fournissant des informations complémentaires sur ces substances extrêmement préoccupantes, on retrouve notamment des détails sur leur utilisation et secteurs d'application, les quantités ou encore les limites de quantification. Dans le cadre de cette étude, un document PDF a été créé contenant les caractéristiques des deux bisphénols présents à la fois dans l'inventaire et dans notre sélection. Ce fichier PDF est attaché en Annexe C2, en plus du rapport approprié.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des bisphénols : industrie manufacturière, extractive et de la construction. Notamment, dans des domaines comme la production de vêtements et de chaussures (textiles et cuir), les activités liées à la chimie, la fabrication de produits divers en caoutchouc et plastique (pour des secteurs comme la mécanique, l'automobile, l'alimentaire, la construction, le médical, l'informatique, l'électronique, l'optique, etc.), la fabrication de papier et carton, l'extraction et le raffinage d'hydrocarbures, de charbon, de lignite et de tourbe, ainsi que dans le domaine du génie civil (bâtiment, tunnels, canalisations, routes, etc.). Par ailleurs, il est également possible de retrouver des bisphénols dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus, c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 4.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les bisphénols a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour la **Région wallonne** ont été prises en compte au sein des bio monitorings ci-dessous :

En particulier, des informations issues des études de sol réalisées en Wallonie nous ont été transmises. Parmi elles, le Bisphénol A (CAS : 116-37-0), qui est repris dans notre sélection, a été retrouvé dans deux dossiers.

Les bisphénols n'ont pas fait l'objet du **bio monitoring (BIOPRO)** qui analyse les niveaux d'imprégnation des riverains habitant à proximité de sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la région Wallonne et Bruxelles capital, des données ont été collectées concernant les bisphénols dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP. Une recherche a été établie entre les données de ce biomonitoring et les bisphénols sélectionnés pour notre étude. Une substance étudiée, le BPA (CAS: 80-05-7), a été mesurée dans le cadre de ce suivi.

- Dans les eaux de surface, le BPA a été mesuré dans les eaux de surface en Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 392 ng/l pour une concentration moyenne de 36 ng/l. Alors qu'en région Bruxelles-Capitale, le BPA a été mesuré à une concentration max de 270 ng/l pour une concentration moyenne de 95,6 ng/l.
- Dans les eaux potabilisable, le BPA a été mesuré dans les eaux de potabilisable en Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 31 ng/l pour une concentration moyenne de 2,3 ng/l.
- Dans les eaux souterraines, le BPA a été mesuré dans les eaux souterraines en Wallonie jusqu'à une concentration maximale de 72 ng/l pour une concentration moyenne de 4 ng/l. Alors qu'en région Bruxelles-Capitale, le BPA a été mesuré à une concentration max de 24 ng/l pour une concentration moyenne de 8,5 ng/l.
- Dans les eaux de STEP, le BPA a été mesuré dans les eaux souterraines en Wallonie et à Bruxelles-Capitale jusqu'à une concentration maximale de 720 ng/l pour une concentration moyenne de 96,1 ng/l.

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexes C4.

Dans le cadre du **biomonitoring (BMH-Wal)**, visant à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement, des données ont été collectées concernant les bisphénols. Les bisphénols suivants étudiés, ont également été analysés dans le cadre de ce suivi :

- BPF (CAS : 620-92-8)
- BPA (CAS : 116-37-0)
- BPS (CAS : 80-09-1)

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexe C8.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le bisphénol BPA (CAS : 80-05-7) a été analysé à 62 reprises entre 2022 et 2024, conformément à la méthode d'analyse « Méthode interne M\_ET256 ». Les concentrations mesurées en BPA varient entre 0,025 et < 2,5 µg/L. Ces données sont disponibles en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : Selon les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse des bisphénols n'a été réalisée. Les bisphénols étudiés dans le cadre de notre recherche n'ont pas encore fait l'objet d'analyses dans le sol et l'eau souterraine à Bruxelles.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

Sur base de cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont pas actuellement analysées ni dans les eaux souterraines, ni dans les données relatives au « biote ». Cependant, le bisphénol A (BPA, CAS : 80-05-7) a été analysé dans les eaux de surface en Flandre. Des concentrations de BPA atteignant jusqu'à 1260 ng/L ont été relevées dans les eaux de surface en Flandre, notamment au niveau d'une station d'échantillonnage située à Nieuport. Dans 90 % des échantillons analysés, la concentration en BPA était inférieure à 100 ng/L. Pour les 10 % restants, la concentration moyenne mesurée s'élevait à 348 ng/L. Pour des informations détaillées sur la présence et les concentrations mesurées de ce bisphénol dans les eaux de surface en Flandre, veuillez consulter l'Annexe C7.

L'occurrence des pollutions à **l'international** a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du **bio monitoring "European Human Dashboard"**, 3 bisphénols sélectionnés dans notre étude, ont également fait l'objet de recherche au sein de ce bio monitoring. On retrouve notamment, le :

- BPA (CAS : 80-05-7)

- BPF ( CAS : 5384-21-4)
- BPS (CAS : 80-09-1).

Des graphiques inclus en Annexe C6 permettent de visualiser les résultats des mesures sur les bisphénols dans ce bio monitoring, couvrant les mesures dans l'urine (en µg/L) et dans le sang (µg/L). Ces graphiques présentent la médiane de la distribution statistique (P50) en fonction du type de bisphénols et de l'année d'échantillonnage. Ces différents graphiques sont disponibles aux annexes suivantes:

- Annexe C6.2: "P50 value log axis of substance: Bisphenols / biomarker: All concentration in Urine (µg/L) stratified by Year of sampling" ;
- Annexe C6.2: "Overview of percentile P50 for substance: Bisphenols / biomarkers: All in Urine (µg/L).

Via le lien suivant, il est également possible d'accéder à d'autres informations et de manipuler les données en modifiant les méthodes statistiques : [European Human Biomonitoring Dashboard | VITO HBM](#).

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
BPA	80-05-7	Bio monitoring "European Human Dashboard" Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement VVM Bio monitoring BMH-Wal Étude de sol (Wallonie)
BPF	5384-21-4	Bio monitoring "European Human Dashboard" Bio monitoring BMH-Wal
BPS	80-09-1	Bio monitoring "European Human Dashboard" Bio monitoring BMH-Wal

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 4.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 20 bisphénols retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annexe B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille de bisphénols, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances et également discuté.

Puisque l'exercice de présélection a été réalisé sur le caractère préoccupant de certains de ces critères (par exemple, le caractère persistant, bioaccumulable ou toxique des substances), certains profils majoritaires qui ressortent dans l'analyse des données récoltées sont naturellement influencés par cette présélection.

### **Volatilité**

Les bisphénols retenus dans la présélection peuvent être principalement qualifiés de non volatiles. En effet, en excluant les composés pour lesquels aucune donnée n'a été retrouvée, les constantes de Henry varient de  $3.12 \times 10^{-7}$  à  $3.59 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$  ( $< 100 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$  selon la valeur seuil base du Tableau 2-3).

La pression de vapeur des composés répertoriés varie de 0 à 136 Pa. Sur base du Tableau 2-3, un composé est considéré comme volatil s'il possède une pression de vapeur égale ou supérieure à 133 Pa, ce qui n'est le cas que pour une seule des substances (CAS 77138-45-5). Selon le GRER, un composé est classé comme volatil s'il a une pression de vapeur supérieure à 10 Pa, ce qui est le cas pour seulement deux des substances (CAS 77138-45-5 ; CAS 35238-34-7).

### **Solubilité**

Les 20 substances retenues dans la présélection présentent des solubilités variables, allant de  $3.2 \times 10^{-5}$  à  $1 \times 10^6 \text{ mg/L}$ . Moins de la moitié de ces substances, soit 8, sont considérées solubles, car leur solubilité dépasse les 150 mg/l, tandis que les autres peuvent être classées comme peu solubles.

Parmi les substances les plus solubles, on peut citer les bisphénols BPA (CAS : 80-05-7), BPB (CAS : 77-40-7), BPS (CAS : 80-09-1), BPAF (CAS : 1478-61-1), 2,4-Bisphénol S (CAS : 5397-34-2), BPADP (CAS : 35238-34-7), Formaldéhyde, oligomeric reaction products with 4,4'-isopropylidenediphenol and diethylenetriamine (CAS : 77138-45-5) ayant une solubilité supérieure à 150 mg/l.

### **Mobilité**

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer.

Parmi les données collectées, les bisphénols sélectionnés ont un log Koc variable, allant de 1,11 à 4,89 avec une valeur moyenne de 3,74. Un total de 7 substances présentent des valeurs de Koc inférieur à 3 (limite fixée dans le Règlement CLP) peuvent donc être considérées comme des substances mobiles.

### **Bioaccumulation**

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Parmi les données récoltées, les bisphénols ont un log Kow compris entre -0,9 et 9,06. Sept des substances ont un log Kow plus élevé que la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), ce qui est un indicateur de leur potentiel à s'accumuler dans les organismes vivants.

### **Persistance**

Le potentiel de persister dans l'environnement est variable parmi les substances retenues dans la présélection. Une seule substance retenue dans la présélection (Bisphénol A, CAS 80-05-7) est qualifiée de « ready degradable » et n'est donc pas persistante. Pour le restant des substances (excluant celles pour lesquelles aucune donnée n'a été retrouvée), certaines démontrent un potentiel à se dégrader sous certaines conditions environnementales, alors que d'autres ont un faible potentiel à se dégrader et pourront persister dans l'environnement.

### **Écoulement vertical du fluide**

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les bisphénols sélectionnés ont majoritairement une densité plus élevée que l'eau, ce qui induit un écoulement vertical. Seuls les composés suivants possèdent une densité inférieure à celle de l'eau signifiant que ce composé restera en surface d'une masse d'eau :

- TMBPA (CAS : 5613-46-7)

- BPF (CAS : 5384-21-4)
- BPC (CAS : 79-97-0).
- 

### Profil (eco)toxicologique

Pour le groupe des bisphénols, le profil (eco)toxicologique est principalement caractérisé par leur (potentiel) caractère perturbateur endocrinien et leur profil reprotoxique. En effet, dans les substances retenues, 12 des substances ont déjà été définies en tant que perturbateurs endocriniens pour les humains et l'environnement ou sont en cours d'évaluation pour leur caractère perturbateur endocrinien suspecté :

- Bisphénol A (CAS 80-05-7)
- Bisphénol B (CAS 77-40-7)
- Bisphénol S (CAS 80-09-1)
- Bisphénol C (CAS : 79-97-0)
- TBMD (CAS 118-82-1)
- Bisphenol F (CAS 5384-21-4)
- Bisphénol M (CAS 13595-25-0)
- Santowhite (CAS 85-60-9)
- DAB (CAS 1745-89-7)
- TMBPA (CAS 5613-46-7)
- 2,2'-[(1- méthylethylidene)bis(4,1- phényleneoxy)]bisethyl diacetate (CAS 19224-29-4)
- BIS-PMA (CAS 27689-12-9)

Neuf des substances retenues ont également une classification reprotoxique (H360, H361). Une majorité des substances du groupe présente également une classification pour une toxicité chronique ou aiguë pour les organismes aquatiques.

Deux des substances (CAS 13595-25-0, CAS 118-82-1) sont également en cours d'évaluation pour leur potentiel PBT/vPvB. Le rapport de l'ECHA (2021) rapporte que le potentiel PBT/vPvB est également un potentiel danger pour certaines substances du groupe des bisphénols.

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces bisphénols ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient potentiellement être utilisées pour la tâche 4.

## 4.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les bisphénols sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1 (tache 3). Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

Sur base de la littérature, les méthodes analytiques générales concernant les bisphénols sont la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem, la chromatographie liquide haute performance couplée à la détection par fluorescence, la méthode « Headspace coupled Gas Chromatography », ainsi que la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation des laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

## 5 Chlorobenzènes

### 5.1 Description chimique et classification

#### 5.1.1 Description générale

Les chlorobenzènes sont des composés dérivés du benzène, dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de chlore, en nombre pouvant aller de 1 à 6. Cette substitution peut donner naissance à plusieurs congénères.

En Europe, les principaux producteurs de chlorobenzènes incluent Bayer et Zeneca. En 1981, leur production mondiale s'élevait à environ 10 000 tonnes par an. De nos jours, bien que certains chlorobenzènes restent autorisés pour des usages spécifiques, d'autres sont peu à peu retirés du marché ou remplacés par des alternatives plus sûres.

Les chlorobenzènes trouvent diverses applications (PubChem, BRGM) : ils sont utilisés comme intermédiaires en chimie, solvants pour la fabrication de pesticides et de peintures, dans l'industrie automobile, ainsi que dans la production de caoutchouc.

#### 5.1.2 Sélection de composés prioritaires

À partir des sources suivantes (PNN et POP et SVHC), une liste exhaustive de chlorobenzènes a été établie, comprenant 12 substances distinctes, consultable en Annexe A2. Ces mêmes substances ont été retenues pour la suite de cette étude.

### 5.2 Description des activités historiques et actuelles

Selon la littérature, les chlorobenzènes sont principalement utilisés dans les domaines suivants :

- Comme intermédiaires en chimie, notamment pour la production de phénol, de DDT et de produits pharmaceutiques ;
- Comme solvants, utilisés dans la fabrication de pesticides, herbicides et fongicides, ainsi que dans la production de peintures, teintures, adhésifs et cires ;
- Dans l'industrie automobile, pour le dégraissage de pièces mécaniques, le transfert de chaleur, les fluides, etc. ;
- Dans l'industrie du caoutchouc, où ils jouent un rôle spécifique dans les procédés de fabrication.

Les données recueillies dans la littérature ont également été regroupées dans la base de données (Annexe B1 – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Une recherche des substances sélectionnées a également été réalisée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activités française). Toutefois, les chlorobenzènes inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cette base de données.

Une recherche similaire a également été réalisée avec l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Toutefois, les chlorobenzènes inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cet inventaire.

Des données supplémentaires provenant d'études de sol réalisées en Wallonie nous ont été transmises. Plusieurs chlorobenzènes, inclus dans notre sélection, ont été identifiés dans des activités spécifiques telles que les décharges et dépotoirs, la sidérurgie, l'industrie chimique organique, et le traitement des déchets.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des chlorobenzènes : l'industrie chimique, les secteurs industriels utilisant des solvants, l'industrie automobile et l'industrie du caoutchouc. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des chlorobenzènes dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 5.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour des chlorobenzènes a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données relatives à la **Région wallonne** ont été recherchées au sein des bio monitorings suivants :

En particulier, des informations issues des études de sol réalisées en Wallonie nous ont été transmises. Parmi elles, les chlorobenzènes de manière générale ont été quantifiés dans le sol et/ou dans l'eau souterraine (plusieurs dossiers de décharges, dépotoirs, sidérurgie, industrie chimique organique et traitement des déchets, ainsi que 6 dossiers en chimie organique).

Les chlorobenzènes n'ont pas été inclus dans le **biomonitoring BIOPRO**, qui vise à analyser les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité de sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

Dans le cadre du programme de recherche **BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'étudier la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région wallonne et de Bruxelles-Capitale, aucune donnée n'a été collectée concernant les chlorobenzènes dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface ou issues des STEP.

Dans le cadre du **biomonitoring (BMH-Wal)**, visant à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement, des données ont été collectées concernant les chlorobenzènes. Le chlorobenzène suivant étudié, a également été analysé dans le cadre de ce suivi :

- Hexachlorobenzène (CAS : 118-74-1)

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexe C8.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le 1,4-Dichlorobenzène (CAS : 106-46-7) et penta chlorobenzène (CAS : 608-93-5) ont été analysés. Le 1,4-Dichlorobenzène a été analysé à 31 reprises, conformément à la méthode d'analyse « NF EN ISO 11423-1 », sous des concentrations <0,05 (seuil de détection). Tandis que le penta chlorobenzène a été analysé à 4 reprises, conformément à la méthode d'analyse « Méthode interne M\_ET173 », sous des concentrations <0,002 (seuil de détection). Ces données sont disponibles en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : Comme mentionné dans l'Annexe C5, des analyses ont été effectuées sur les chlorobenzènes présents dans le sol et l'eau souterraine à Bruxelles. Ces substances font partie des composés sélectionnés pour cette étude. Parmi les chlorobenzènes analysés et sélectionnés, on compte notamment les substances suivantes, qui ont été mesurées à 9356 reprises :
  - Le 1,2-dichlorobenzène
  - Le 1,3-dichlorobenzène
  - Le 1,4-dichlorobenzène
  - L'hexachlorobenzène
  - Le monochlorobenzène
  - Le penta chlorobenzène

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

Suite à cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas mesurées dans les eaux souterraines. Des isomères de dichlorobenzène (dichlorobenzène ; 1,2-dichlorobenzène ; 1,3-dichlorobenzène ; 1,4-dichlorobenzène) et de trichlorobenzène (trichlorobenzène ; 1,2,3-trichlorobenzène ; 1,2,4-trichlorobenzène ; 1,3,5-trichlorobenzène) ont, en revanche, été détectés dans les eaux de

surface en Flandre. Pour des informations détaillées concernant l'occurrence et les concentrations mesurées de ces chlorobenzènes dans les eaux de surface en Flandre, veuillez consulter l'Annexe C7.

L'occurrence des pollutions à l'international a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du biomonitoring « European Human Dashboard », aucun chlorobenzène n'a été inclus dans les recherches menées par cette étude. En conséquence, aucune comparaison avec les chlorobenzènes sélectionnés dans notre étude n'a pu être effectuée.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
Monochlorobenzène	108-90-7	Bruxelles Environnement
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	Bruxelles Environnement VVM
1,2-dichlorobenzène	95-50-1	Bruxelles Environnement VVM
1,3-dichlorobenzène	541-73-1	Bruxelles Environnement VVM
1,2,3-trichlorobenzène	87-61-6	VVM
1,2,4-trichlorobenzène	120-82-1	VVM
1,3,5-trichlorobenzène	108-70-3	VVM
Pentachlorobenzène	608-93-5	Bruxelles Environnement
Hexachlorobenzène	118-74-1	Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 5.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 12 chlorobenzènes retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annexe B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille de chlorobenzènes, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances est également discuté.

Puisque l'exercice de présélection a été réalisé sur le caractère préoccupant de certains de ces critères (par exemple, le caractère persistant, bioaccumulable ou toxique des substances), certains profils majoritaires qui ressortent dans l'analyse des données récoltées sont naturellement influencés par cette présélection.

### **Volatilité**

Parmi les substances sélectionnées et sur base des données collectées, on retrouve une constante de Henry principalement comprise entre 58.29 et 311 Pa.m<sup>3</sup>/mol. D'après le Tableau 2-3, un composé est classé comme faiblement volatil s'il a une constante de Henry inférieure à 100, comme volatil s'il se situe entre 100 et 500, et comme très volatil s'il est supérieur à 500. Parmi les composés répertoriés, 7 sont considérés comme volatils (en excluant ceux pour lesquels aucune information n'a été trouvée).

Les substances sélectionnées ont également une pression de vapeur comprise entre 1<sup>E-3</sup> et 1.59<sup>E4</sup> Pa. Sur base du Tableau 2-3, un composé est considéré comme volatil s'il possède une pression de vapeur égale ou supérieure à 133 Pa. Parmi les composés présents, 2 ont une pression de vapeur inférieure à 133 Pa, et sont donc classés comme non volatils (en excluant ceux pour lesquels aucune information n'a été trouvée). Selon le GRER, un composé est classé comme volatil s'il a une pression de vapeur supérieure à 10 Pa : Parmi les composés répertoriés, 8 ont une pression de vapeur supérieure à 10 Pa et sont donc qualifiés de volatils. Les autres chlorobenzènes peuvent être considérés comme non volatils.

### **Solubilité**

La solubilité des substances sélectionnées varie de 9,21<sup>E-3</sup> à 499 mg/L. Seules deux substances ont une solubilité supérieure à la valeur seuil de 150 mg/l, et peuvent être classées comme solubles. Les autres chlorobenzènes sont considérés comme peu solubles.

Parmi les substances les plus solubles, on peut citer le monochlorobenzène (CAS : 108-90-7), ainsi que le di chlorobenzène (CAS : 95-50-1).

### **Mobilité**

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer.

Parmi les données collectées, les substances sélectionnées ont un log Koc moyen de 3,26, avec des valeurs comprises entre 2,2 et 4,39. Une majorité de substances présentent des valeurs de Koc supérieures à 3 (limite fixée dans le Règlement CLP) ce qui est indicateur d'une bonne affinité avec la matière organique, et donc d'une faible mobilité.

### **Bioaccumulation**

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Parmi les données récoltées, les chlorobenzènes ont un log Kow compris entre 2,84 et 5,47, avec un log Kow moyen de 4,22. Cinq des substances ont un log Kow supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), ce qui indique un potentiel à s'accumuler dans les organismes vivants. Pour deux de ces substances (pentachlorobenzène, CAS 608-93-5 ; hexachlorobenzène, CAS 118-74-1), le profil bioaccumulable est également confirmé par la présence de ces deux substances sur la liste POP.

### **Persistence**

À l'exception du 1,4 DCB (CAS 106-46-7), la majorité des substances retenues sont qualifiées de « not readily biodegradable » et ont un potentiel à persister dans l'environnement. Pour les deux substances susmentionnées, le côté persistant est confirmé par leur présence dans la liste POP (pentachlorobenzène, CAS 608-93-5 ; hexachlorobenzène, CAS 118-74-1).

## Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les chlorobenzènes sélectionnés ont majoritairement une densité plus élevée que l'eau, ce qui induit un écoulement vertical. Aucun chlorobenzène n'a une densité inférieure à celle de l'eau.

## Profil (éco)toxicologique

Au niveau **(éco) toxicologique**, les chlorobenzènes présentent des profils variés, mais partagent une caractéristique commune préoccupante : une forte tendance à être classés comme toxique pour le milieu aquatique (Aquatic life). En effet, tous sont identifiés comme tels. De plus, 2 d'entre eux ont une classification cancérigène (H350, H351).

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces chlorobenzènes ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient potentiellement être utilisées pour la tâche 4.

## 5.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les chlorobenzènes sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1 (tâche 3). Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

D'une manière générale et selon la littérature, les méthodes les plus largement utilisées en analyse sont la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse. Il arrive parfois que ces deux méthodes soient couplées. De plus, la littérature mentionne une autre méthode d'analyse pour certains chlorobenzènes : la méthode HeadSpace (HS).

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes de la crédla fondées par les laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

**Aux Pays-Bas**, des informations ont été reçues des collègues Arcadis, montrant l'existence de paquet d'analyses contenant les chlorobenzènes dans les études de sol. En Belgique, certains chlorobenzènes, tels que le pentachlorobenzène et l'hexachlorobenzène, sont également inclus dans des paquets d'analyses.

## 6 Dioxines et furanes

### 6.1 Description chimique et classification

#### 6.1.1 Description générale

Les dioxines et les furanes sont des composés organochlorés, hétérocycliques et aromatiques. Les furanes renferment un atome d'oxygène, alors que les dioxines en comprennent deux, dans ce cycle aromatique. Chaque molécule est distinguée par la position et le nombre d'atomes de chlore, alors que ce groupe est composé de 210 substances, comprenant 135 isomères de furanes et 75 isomères de dioxines (Gallotti, S., & Thomann, C., 2005).

Leurs caractéristiques principales sont leur stabilité thermique, leur insolubilité dans l'eau et leur très grande solubilité dans les graisses, où elles s'accumulent et deviennent difficilement biodégradables (Gallotti, S., & Thomann, C., 2005).

Une exposition de fond aux dioxines touche déjà l'ensemble de la population, cependant, la nature des molécules et le niveau d'exposition influent sur les caractéristiques de ces composés. Ainsi, en raison des risques toxiques impliqués, des actions sont tout de même entreprises pour réduire leurs concentrations de base dans la chaîne alimentaire mondiale, comme souligné par l'OMS (OMS, 2023).

Parmi les impacts des dioxines et des furanes sur les humains, l'exposition se fait principalement via l'alimentation et la profession, provoquant divers dommages tels que (OMS, 2023) :

- Risque de cancer ;
- Lésions cutanées ;
- Altération du système immunitaire et hormonal ;
- Perturbation du système nerveux ;
- Altération du système endocrinien et des fonctions reproductives ;
- Autres.

Dans cette famille de composés, 30 d'entre eux sont considérés toxiques, incluant le TCDD (2,3,7,8-tétra-chloro-dibenzo para-dioxine), la molécule à l'origine de l'accident de Seveso, qui est la plus toxique parmi les HAP chlorés, selon (Gallotti, S., & Thomann, C., 2005; OMS, 2023).

Les dioxines et furanes sont souvent présents de manière chronique dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, en particulier dans les sols, puis se retrouvent dans la chaîne alimentaire (Gallotti, S., & Thomann, C., 2005). Selon (OMS, 2023), 90 % des expositions humaines se feraient à travers la nourriture.

Ils résultent de processus industriels chimiques et, le plus souvent, thermiques. Ils peuvent également résulter de processus naturels, notamment liés à l'activité des volcans ou des feux de forêt (Gallotti, S., & Thomann, C., 2005 ; OMS, 2023).

Ces substances sont particulièrement susceptibles d'être présentes lors de certaines méthodes de production spécifiques, comme la fonte, le blanchiment au chlore de la pâte à papier, la fabrication d'herbicides et de pesticides (OMS, 2023). De plus, on les retrouve dans les centres d'incinération de déchets dangereux non contrôlés.

#### 6.1.2 Sélection de composés prioritaires

La famille des dioxines et des furanes regroupe plus de 210 congénères. Toutefois, selon la littérature (ANSES, INERIS), seuls 17 d'entre eux sont considérés comme toxiques, en raison de la position spécifique des atomes de chlore sur la molécule. Une liste complète de ces dioxines et furanes a été établie sur la base de ces sources. Cette liste, disponible en Annexe A2, contient 17 substances, dont 6 dioxines et 11 furanes, qui ont été retenues pour la suite de cette étude.

## 6.2 Description des activités historiques et actuelles

Les Dioxines et les Furanes peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. En effet, ces composés peuvent résulter d'événements tels qu'une éruption volcanique ou des feux de forêts (OMS, 2023), ou bien de processus industriels comme la combustion à basse température de substances contenant du chlore, ou encore lors de la fabrication de produits en contenant. Ainsi, ils peuvent être à la fois des produits industriels recherchés et des sous-produits non souhaités lors de la production d'autres substances (Bruxelles Environnement, 2011).

Depuis plusieurs années, on observe la diminution des émissions de dioxines et furanes en raison de la fermeture de certaines installations industrielles, la mise en place de systèmes de traitement de fumée plus performants, l'interdiction du plomb dans les essences ou encore le déploiement des pots catalytiques. Toutefois, en raison de leur grande persistance dans l'environnement, même si leur émission a nettement baissé, leur concentration dans les sols et les sédiments n'a quant à elle pas diminué.

Selon la littérature, les principales activités historiques et actuelles propices à la libération de sous-produits sous forme de dioxines et furanes, sont (Bruxelles Environnement, 2011) :

Lors de processus chimiques :

- Dans l'industrie du papier (lors du blanchiment au chlore) ;
- Dans l'industrie de la chimie (fabrication de substances, telles que les chlorophénols par exemple) ;
- Lors de la production d'herbicides ou des pesticides (OMS, 2023) ;
- Dans l'industrie des colorants et de la pigmentation.

Lors de processus thermiques :

- La combustion de bois traité ;
- L'incinération de déchets (ménagers, hospitaliers, pneus, boues d'épuration, etc.) ;
- Crématorium ;
- La combustion de l'essence, du mazout, diesel et huile de chauffage (industrie (péto)chimique) ;
- Dans l'industrie métallurgique.

Selon Bruxelles-Environnement, 74% des émissions de dioxines (en 2008) sont dus au processus de combustion lié au chauffage des bâtiments principalement dans le secteur du logement (résidentiel) et du tertiaire. Alors que le secteur de l'incinération est quant à lui responsable de 12% des émissions de dioxines. La catégorie « autres » reprend les émissions de dioxines issues de la crémation et compte pour 7% des émissions totales. Ci-dessous, la répartition sectorielle (en 2008) des émissions de dioxines sur le territoire de la région Bruxelles-Capitale, sous forme de graphique.

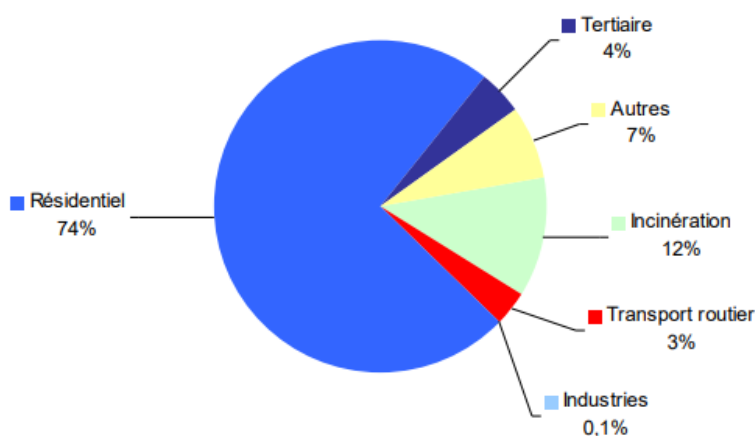


Figure 4 : Répartition sectorielle en 2008 des émissions de dioxines, sur le territoire de la région Bruxelles-Capitale (Bruxelles Environnement, 2011).

Les données recueillies dans la littérature ont également été regroupées dans la base de données (Annexe B1 – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Par ailleurs, une recherche des substances sélectionnées a également été réalisée en s'appuyant sur la base de données du BRGM (matrice polluants-activités française). Toutefois, les dioxines et furanes inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cette base de données.

Une recherche similaire a également été réalisée avec l'inventaire des substances qualifiées d'extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Toutefois, les dioxines et furanes inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cet inventaire.

Les études de sol menées en Wallonie (plusieurs dossiers) ont analysé (et parfois détecté) la présence de dioxines et furanes dans des activités telles que les incinérateurs, la sidérurgie, les décharges, et les fours de cimenterie, avec quantification effectuée dans certains cas.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des dioxines et furanes : secteurs industriels comme le papier, la chimie, la production d'herbicides, l'industrie des colorants, la combustion de bois, l'incinération de déchets, les crématoriums, la combustion de carburants et l'industrie métallurgique. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des dioxines et furanes dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus, c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 6.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les dioxines et furanes a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour la **Région wallonne** ont été prises en compte au sein des bio monitorings ci-dessous :

Un programme de **biomonitoring (BIOPRO)** a été réalisé pour analyser les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité de sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024). Au cours de cette étude, des composés organohalogénés, tels que les polychlorodibenzo-para-dioxines et furannes (PCDD/F), ont été mesurés dans des échantillons de poussières. Le 1,2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane et le 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane ont été analysés dans cette étude. Ce bio monitoring est disponible en Annexe C3.

Dans le cadre du programme de recherche **BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), visant à analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux des régions de Wallonie et de Bruxelles-Capitale, aucune donnée n'a été collectée concernant les dioxines et furanes dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et issues des stations d'épuration (STEP).

Les dioxines et furanes n'ont pas fait l'objet du **bio monitoring (BMH-Wal)** qui vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT) : Selon les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse spécifique aux dioxines et furanes n'a été réalisée.
- Dans le sol et l'eau souterraine : Selon les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse spécifique aux dioxines et furanes n'a été réalisée. Les dioxines et furanes pris en compte dans notre étude n'ont pas été analysés dans les sols et les eaux souterraines à Bruxelles.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

Sur base de cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas mesurées dans les eaux souterraines. Une comparaison a toutefois été effectuée avec la base de données relatives au « biote » et « eau de surface ». Certains furanes identifiés dans notre étude ont été détectés en Région flamande, notamment dans le biote. Parmi eux figurent :

- Des Tetrachlorodibenzofuranne (CAS : 51207-31-9)
- Des Pentachlorodibenzofuranne (CAS : 57117-41-6 ; 57117-31-4)
- Des Hexachlorodibenzofuranne (CAS : 57117-44-9 ; 70648-26-9 ; 72918-21-9 ; 60851-34-5)
- Des Heptachlorodibenzofuranne (CAS : 55673-89-7 ; 67562-39-4)
- Des Octachlorodibenzofuranne (CAS : 39001-02-0)

Notons qu'aucune analyse des dioxines et furanes n'a été réalisée en Flandre dans l'eau de surface. Un fichier Excel présentant l'occurrence de ces composés en Flandre, ainsi que les différentes concentrations mesurées, est disponible en Annexe C7.

L'occurrence des pollutions à l'international a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du biomonitoring intitulé "European Human Dashboard", aucune analyse portant sur les dioxines et furanes n'a été réalisée. Par conséquent, ces données n'ont pas pu être valorisées pour cette famille.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
2,3,7,8 Tetrachlorodibenzofuranne	51207-31-9	VVM
1,2,3,7,8 Pentachlorodibenzofuranne	57117-41-6	VVM
2,3,4,7,8 Pentachlorodibenzofuranne	57117-31-4	VVM
1,2,3,6,7,8 Hexachlorodibenzofuranne	57117-44-9	VVM BIOPRO
1,2,3,4,7,8 Hexachlorodibenzofuranne	70648-26-9	VVM BIOPRO
1,2,3,7,8,9 Hexachlorodibenzofuranne	72918-21-9	VVM
2,3,4,6,7,8 Hexachlorodibenzofuranne	60851-34-5	VVM
1,2,3,4,6,7,8,9 Heptachlorodibenzofuranne	55673-89-7	VVM
1,2,3,4,6,7,8 Heptachlorodibenzofuranne	67562-39-4	VVM
1,2,3,4,6,7,8,9 Octachlorodibenzofurane	39001-02-0	VVM

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 6.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 17 dioxines et furanes retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annexe B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille de dioxines et furanes, sur base des informations recensées dans la base de données.

Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances est également discuté.

### Volatilité

Les dioxines et furanes sélectionnés dans l'étude peuvent être principalement qualifiés de non volatiles. En effet, les pressions de vapeur des 17 substances sont dans l'ordre de grandeur de  $10^{E-04}$  –  $10^{E-10}$ , représentatif de composés non volatils (< 133 Pa selon le Tableau 2-3 et < 10 Pa selon le GRER). La constante de Henry des substances varie de 0.133 à 519 Pa.m<sup>3</sup>/mol, avec 15 des 17 substances se trouvant dans la tranche de composés faiblement volatiles selon le Tableau 2-3 (constante de Henry < 100).

### Solubilité

Parmi les 17 substances sélectionnées, la solubilité qui varie de 0,0679 à 4<sup>e</sup>-7 mg/l. Ces substances sont considérées comme peu solubles (< 150 mg/l).

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer. Sur base des données collectées, les substances sélectionnées ont un log Koc moyen de 5,86, avec des valeurs comprises entre 4,74 et 6,62. Ils peuvent donc être considérés comme ayant une bonne affinité avec la matière organique et seront peu mobiles (log Koc > 3 (limite fixée dans le Règlement CLP)).

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Parmi les données récoltées, les dioxines et furanes ont un log du coefficient de partage eau/octanol compris entre 6,53 et 8,0. Le log (Kow) moyen des dioxines et furanes sélectionnés est de 8, supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), signifiant que ceux-ci sont considérés comme très hydrophobes, et ont donc un grand potentiel à s'accumuler dans les organismes vivants.

### Persistance

Le groupe des dioxines et furanes est considéré comme des substances persistantes dans l'environnement. Les demi-vies des substances varient entre 14,5 et 148 jours, incluant par exemple l'OCDD (CAS : 3268-87-9) qui a une demi-vie de 148 jours.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les dioxines et furanes sélectionnés ont une densité plus élevée que l'eau ce qui induit un écoulement vertical de ces molécules.

## Profil (eco)toxicologique

Sur le plan toxicologique, les dioxines et furanes présentent des profils variés, mais partagent une caractéristique commune préoccupante : une forte tendance à être classés comme toxiques pour le milieu aquatique (Aquatic Life), tous identifiés comme tels. Par ailleurs, 5 des substances retenues présentent également des classifications cancérigènes (H350) ou mutagènes (H341).

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces dioxines et furanes ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient potentiellement être utilisées pour la tâche 4.

## 6.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les dioxines et furanes sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1 (tâche 3). Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

D'une manière générale et selon la littérature, les méthodes analytiques les plus largement utilisées sont la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Ces méthodes d'analyse sont assez difficiles, coûteuses et effectuées par peu de laboratoires (ANSES, 2005 ; WHO)

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

# 7 Hexachlorobutadiène (HCBd)

## 7.1 Description chimique et classification

### 7.1.1 Description générale

L'hexachlorobutadiène est un sous-produit issu de la réaction entre le tétrachlorure de carbone et le tétrachloroéthène, produit en quantité suffisante pour satisfaire les besoins industriels.

Il est principalement utilisé comme additif dans l'industrie des plastiques, dans les revêtements de protection, en tant que solvant, liquide de transfert de chaleur pour les transformateurs, fluide hydraulique, ainsi que comme intermédiaire dans la fabrication de caoutchouc, de chlorofluorocarbures et de lubrifiants (Verschueren, 1996 ; U.S. EPA, 2016). En agriculture, il a également été employé comme herbicide ou algicide puissant, bien que son usage soit aujourd'hui déconseillé en raison de sa toxicité élevée même à faible concentration (IARC, 1999).

L'exposition à cette substance peut survenir lors de sa production ou de son utilisation comme solvant, liquide, pesticide ou intermédiaire chimique. Elle a souvent été détectée dans l'air ambiant, l'eau, les aliments et les tissus humains (IARC, 1999).

### 7.1.2 Sélection de composés prioritaires

La famille des hexachlorobutadiènes fait généralement référence à une seule molécule, le hexachlorobuta-1,3-diène, inscrit sur les listes POP, Prio UE et EPA. Cette substance a donc été choisie et retenue pour la suite de cette étude, comme indiqué dans l'Annexe A2.

## 7.2 Description des activités historiques et actuelles

Cette substance provient d'un sous-produit d'une réaction chimique, elle est alors utilisée d'une manière industrielle dans diverses activités.

Sur base de la littérature, l'hexachlorobutadiène est principalement utilisé dans les secteurs suivants (Pubchem) :

- La fabrication de pesticides
- Les solvants
- Les liquides hydrauliques/de transfert de chaleur
- La production de caoutchouc

Les données recueillies dans la littérature (PubChem) ont été regroupées dans la base de données (Annexe B1 – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Une recherche de la substance sélectionnée a également été réalisée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activités française). Toutefois, les dioxines et furanes inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cette base de données.

Une recherche similaire a été effectuée avec l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. La substance d'intérêt appartenant à cette famille (HCBd, CAS : 201-765-5) a également été répertoriée dans cet inventaire. Cet inventaire est présenté sous forme d'un tableau Excel fournissant des informations complémentaires sur ces substances extrêmement préoccupantes, on retrouve notamment des détails sur leur utilisation et secteurs d'application, les quantités ou encore les limites de quantification. Dans le cadre de cette étude, un document PDF a été créé contenant les caractéristiques de l'hexachlorobutadiène présent à la fois dans l'inventaire et dans notre sélection. Le fichier PDF comparatif est attaché en Annexe C2, en plus du rapport approprié. Les activités liées à cette substance dans cet inventaire concernent principalement l'industrie du caoutchouc, ainsi que son emploi comme lubrifiant ou agent ignifuge.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation de l'hexachlorobutadiène : secteurs de l'industrie de la chimie de base et des fluides techniques, dans l'agrochimie ainsi que dans l'industrie du caoutchouc. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des dioxines et furanes dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus, c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 7.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour l'hexachlorobutadiène a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour la **Région wallonne** sont les suivantes :

L'hexachlorobutadiène n'a pas été inclus dans les analyses du programme de **biomonitoring (BIOPRO)**, qui étudie les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité des sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

De même, cette substance n'a pas été analysée dans le cadre du **programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est de détecter la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux des régions de Wallonie et de Bruxelles-Capitale.

L'HCBD n'a pas fait l'objet du **bio monitoring (BMH-Wal)** qui vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement.

Aucun dossier relatif aux études de sol en Wallonie n'a été transmis pour cette catégorie de substances.

La **région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT) : D'après les données disponibles en Annexe C5, l'HCBD a été mesuré à 124 reprises. Les concentrations relevées dans les eaux de surface à Bruxelles sont de 0,002, <0,001, <0,005 ou <0,06 µg/L.
- Dans le sol et l'eau souterraine : Selon les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse de l'hexachlorobutadiène n'a été réalisée. Cette substance, étudiée dans le cadre de notre recherche, n'a pas encore été analysée dans le sol et l'eau souterraine à Bruxelles.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les sédiments et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

Suite à cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas mesurées dans les eaux souterraines ni dans la base de données relative au « biote ». Cependant, le HCBD (CAS : 87-68-3) a été détecté dans les eaux de surface. En effet, cette substance a été analysée dans 822 échantillons, avec une concentration moyenne de 3,67 ng/L, une concentration minimale de 0,05 ng/L et une concentration maximale de 50 ng/L. Un fichier Excel, repris en Annexe C7, présente l'occurrence de ce composé en Flandre ainsi que les différentes concentrations mesurées.

L'occurrence des pollutions **à l'international** a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du **biomonitoring "European Human Dashboard"**, l'hexachlorobutadiène, sélectionné dans notre étude, n'a pas été inclus dans le suivi réalisé par ce programme.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent la substance présélectionnée suivante :

Nom de la substance	N°CAS	Source
HCBD	87-68-3	VMM Bruxelles Environnement

Les résultats des différents monitorings ont révélé que cette substance était analysée et parfois détectée dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui l'utilisent ou la produisent.

## 7.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour l'hexachlorobutadiène retenu dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annex B1.

Les paramètres physico-chimiques de cette substance permettent de caractériser son comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de cette substance sont décrits de manière générale pour l'hexachlorobutadiène, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général de cette substance et également discuté.

Puisque l'exercice de présélection a été réalisé sur le caractère préoccupant de certains de ces critères (par exemple, le caractère persistant, bioaccumulable ou toxique des substances), certains profils majoritaires qui ressortent dans l'analyse des données récoltées sont naturellement influencés par cette présélection.

L'hexachlorobutadiène (CAS 87-68-3) est la seule substance reprise dans la famille et retenue dans l'exercice de présélection.

### Volatilité

L'hexachlorobutadiène peut être considérée comme une substance volatile, avec une pression de vapeur de 20 Pa (> 10 Pa selon le GRER) et une constante de Henry de 1043,65 Pa.m<sup>3</sup>/mol (> 500 selon le Tableau 2-3).

### Solubilité

L'hexachlorobutadiène a une solubilité de 3,2 mg/L et est considérée comme peu soluble (< 150 mg/L selon le Tableau 2-3).

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Sur base d'un log Koc = 3,9 l'hexachlorobutadiène peut être considérée comme une substance peu mobile (log Koc > 3 (limite fixée dans le Règlement CLP)), qui présente une bonne affinité avec la matière organique.

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. L'hexachlorobutadiène a un log Kow = 4,78, supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), ce qui est un premier indicateur de sa capacité à s'accumuler dans les organismes vivants. Le caractère fortement bioaccumulable de la substance est confirmé par la présence de la substance sur la liste POP.

### Persistance

La présence de la substance sur la liste POP indique également qu'elle sera persistante dans l'environnement.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. L'HCBD a une densité plus élevée que l'eau, ce qui induit un écoulement vertical de cette molécule.

### Profil (eco)toxicologique

Parmi les classifications majeures, l'hexachlorobutadiène est suspecté d'être cancérigène (H351) et présente également une toxicité aiguë et chronique pour les organismes aquatiques (H400, H410).

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à cet Hexachlorobutadiène ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient potentiellement être utilisées pour la tâche 4.

## 7.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour l'hexachlorobutadiène sélectionné (HCBD), une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, la méthode la plus largement utilisée est la chromatographie gazeuse (*PubChem*).

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que de leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

## 8 Polychlorobiphényles (PCB)

### 8.1 Description chimique et classification

#### 8.1.1 Description générale

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés organochlorés aromatiques comprenant 209 substances distinctes. Leur structure repose sur deux noyaux phényliques auxquels peuvent se fixer un à dix atomes de chlore. Le nombre et la position de ces atomes influencent directement leurs propriétés physico-chimiques.

On distingue deux grandes catégories de PCB en fonction de leur mécanisme d'action toxicologique (OVAM, 2021):

- PCB « Dioxin-like » : mécanisme comparable à celui des dioxines et furanes ;
- PCB « non-Dioxin-like » : mécanisme de toxicité est différent.

En 1982, le Bureau Communautaire de Référence de la Commission Européenne a identifié sept PCB indicateurs, représentant environ 50 % des PCB totaux (ils sont classés comme non-dioxin-like, à l'exception du PCB 118, qui appartient également à la catégorie des dioxin-like). Ces congénères (118, 138, 153, 180, 28, 52 et 101) sont considérés comme toxiques, persistants et abondants dans l'environnement (CIRE, 2010 ; Dargnat et Fisson, 1992).

Douze PCB supplémentaires, dits « dioxin-like », sont également répertoriés en raison de leur présence fréquente dans l'environnement, l'alimentation et l'organisme humain. Bien qu'ils soient extrêmement toxiques, ils sont moins abondants dans les mélanges industriels et les milieux naturels (AFSSA, 2005; CIRE, 2010).

Les PCB sont généralement commercialisés sous forme de mélanges, connus sous des noms tels qu'Arochlors, Pyralène ou Askarel. Chaque formulation comprend entre 50 et 70 congénères et possède une teneur en chlore spécifique, conférant à chaque mélange des propriétés physico-chimiques uniques (CIRE, 2010). Les PCB indicateurs sont particulièrement présents dans les mélanges d'Aroclor (Katta R, 2013 ; OVAM, 2021).

Dès les années 1930, les PCB ont été largement utilisés pour leurs caractéristiques recherchées : une grande stabilité thermique, un point d'ébullition élevé et une faible pression de vapeur saturante (EPA). Ils ont été employés dans de nombreux secteurs, notamment : comme lubrifiants pour turbines et pompes, comme isolants dans les transformateurs et condensateurs électriques, dans la fabrication de peintures et autres revêtements industriels.

Cependant, leur persistance dans l'environnement et leur toxicité ont conduit à leur interdiction progressive. En Belgique, leur fabrication, importation et exportation ont été interdites par l'arrêté royal du 9 juillet 1986, en application des directives européennes 76/769/CEE et 85/467/CEE. Un plan d'élimination a été mis en place dans les années 2000, limitant leur usage jusqu'en 2005 avant leur destruction systématique (Plan national de mise en œuvre de la Belgique – POPs ; Conseil de l'UE, 1996).

En raison de leur stabilité et de leur dégradation extrêmement lente, les PCB sont classés comme polluants organiques persistants (POP). Même des années après avoir été interdits, ils sont encore présents dans l'environnement.

Quantitativement, entre 1955 et 1984, environ 60 000 tonnes de PCB ont été vendues en France, principalement pour la fabrication de transformateurs et de condensateurs (Gervason, 1987 ; Ineris, 2012). En Belgique, en 1985, le stock total de liquides contenant des PCB s'élevait à 12.100 tonnes, chiffre qui a diminué à 8.488 tonnes en 2001.

#### 8.1.2 Sélection de composés prioritaires

Sur base du document de l'EPA (EPA, 2003) et de la littérature, une liste de PCB a été établie, répertoriant 209 congénères différents, consultable en Annexe A2. La sélection, basée sur la littérature pour cette famille, a été appliquée, permettant ainsi de retenir 18 PCB pour la suite de cette étude. Parmi eux, 6 PCB appartiennent à la catégorie des non-dioxin-like, 11 à celle des dioxin-like, et 1 PCB est classé dans les deux catégories.

## 8.2 Description des activités historiques et actuelles

Entre les années 1930 et 1980, les PCB ont été largement utilisés en raison de leurs propriétés particulièrement recherchées : une grande stabilité thermique, une inflammabilité très faible, un point d'ébullition élevé, une faible pression de vapeur saturante et une bonne résistance aux agents oxydants (INERIS, 2012).

Ces composés étaient présents dans divers secteurs industriels, notamment pour :

- La lubrification des turbines et pompes ;
- Leur utilisation comme réfrigérant ;
- Leur rôle d'isolant dans les transformateurs et condensateurs électriques ;
- La fabrication de peintures et autres revêtements industriels.

Les figures Figure 5 et Figure 6 illustrent la répartition des différents secteurs d'application dans la production de PCB, ainsi que les activités plus spécifiques dans lesquelles ces substances ont été utilisées.

Secteurs d'application	Part dans la production de PCB
Fluides diélectriques de transformateurs et condensateurs	60 %
Fluides industriels, hydrauliques, turbines à gaz	15 %
Adhésifs, textiles, imprimeries et pesticides	25 %
Additifs dans la formulation d'insecticides, bactéricides...	Non déterminé

Figure 5 : Part des secteurs d'application dans la production de PCB (Nations Unies – PNUE, 2001).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• fluides diélectriques : transformateurs, condensateurs de puissance ou pour l'électroménager et l'éclairage</li> <li>• fours à micro ondes</li> <li>• air conditionné</li> <li>• moteurs électriques</li> <li>• Ballasts pour lampes électriques</li> <li>• Electro aimants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fluides hydrauliques</li> <li>• fluides de transfert de chaleurs</li> <li>• Commutateurs</li> <li>• Régulateurs de voltage</li> <li>• Disjoncteurs</li> <li>• Câbles électriques</li> <li>• fluides industriels : pompes à vide, huiles hydrauliques, huiles de coupe des métaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubrifiants</li> <li>• Cires</li> <li>• Retardateurs de flamme</li> <li>• Matériaux isolants</li> <li>• Pesticides</li> <li>• Teintures</li> <li>• Asphaltes</li> <li>• Condensats de gazoducs additifs ignifugeants : matière plastique, agents plastifiants et/ou adhésifs:</li> <li>- revêtement de surface : peinture, laques, vernis ...</li> <li>- revêtement de textiles : bâches imperméables, ...</li> <li>- revêtement de fils et câbles</li> <li>- encres</li> <li>- papiers de reproduction : thermographie</li> <li>- matières plastiques</li> <li>- caoutchoucs</li> <li>- colles et adhésifs</li> <li>- joints d'étanchéité : eau, vapeur, gaz</li> <li>- ensimage de fils</li> </ul>
---	--	---

Figure 6 : Répartition et utilisations de congénères de PCB (CIRE, 2010).

À partir de 1980, les PCB ont été progressivement interdits (directives européennes 76/769/CEE et 85/467/CEE) et ont fait l'objet d'un plan d'élimination dans les années 2000. Leur destruction systématique a ensuite été mise en place après 2005 (Plan national de mise en œuvre de la Belgique (POPs), 2009 ; Conseil de l'UE, 1996).

Par ailleurs, une recherche a également été effectuée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française) pour les substances sélectionnées. Aucun PCB ne se retrouvait dans cette base de données.

Une recherche similaire a été réalisée avec l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Aucun PCB n'a été trouvé dans cet inventaire.

Il est important de noter que leur absence dans ces deux sources peut s'expliquer par le fait que ces molécules sont interdites et ne sont plus produites depuis de nombreuses années. Toutefois, elles restent encore présentes dans l'environnement.

Les études de sol réalisées en Wallonie ont recherché et parfois détecté la présence de PCB dans divers contextes, tels que les dépotoirs, transformateurs, sédiments, différents processus industriels, le traitement des déchets, les centrales électriques et les fours de cimenterie. Ces substances ont souvent été quantifiées dans le sol et les eaux souterraines (beaucoup de dossiers).

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des PCB : secteurs électriques, industriels, hydrauliques, ainsi que dans les adhésifs (textile ou encore imprimerie). De plus, les PCB peuvent également être présents dans les produits en fin de vie mentionnés ci-dessus, notamment dans les décharges, puisque leur production a cessé.

## 8.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les PCB a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour **la Région Wallonne** sont les suivantes :

En se basant sur le bio monitoring (BIOPRO) qui analyse les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité des sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024), 18 PCB ont été mesurés, à savoir: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180, PCB 77, PCB 81, PCB 126, PCB 169, PCB 105, PCB 114, PCB 123, PCB 156, PCB 157, PCB 167 et PCB 189. Ces PCB correspondent à ceux sélectionnés dans le cadre de notre étude. Les résultats montrent les éléments suivants:

- **PCB indicateurs:**
  - Les PCB 28, 52, et 101 ont été quantifiés dans 3,4 % à 6 % des échantillons ;
  - Les PCB 118, 138, 153 et 180 ont été détectés dans 86 % (pour le PCB 118) à 100 % (pour les PCB 138 et 153) des échantillons, avec des concentrations médianes (P50) variant entre 2,1 et 10,7 ng/g de lipides (soit entre 10,8 et 57,4 ng/L, selon le PCB).
- **PCB dioxin-like:**
  - Le PCB 189 a été détecté en très faible quantité ;
  - Le PCB 156 a été le plus fréquemment retrouvé, avec 50 % des valeurs supérieures à la limite de quantification ;
  - Les PCB 105, 114, 157, 167 ont également été détectés, mais à des niveaux variés ;
  - Certains PCB dioxin-like (PCB 77, 81, 123, 126 et 169) n'ont jamais été détectés.

L'étude conclut que la concentration moyenne de PCB 138 était 1,2 fois plus élevée dans le sang des adolescents vivant près des sites de broyage de métaux par rapport aux témoins. Les résultats complets de ce bio monitoring sont disponibles en Annexe C3.

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la région Wallonne et Bruxelles capital, des données ont été collectées concernant les PCB dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP. Une recherche a été établie entre les données de ce biomonitoring et les PCB sélectionnés pour notre étude. Des substances étudiées, les PCB (101, 138, 153, 180, 28 et 52), ont été mesurées dans le cadre de ce suivi.

Dans le cadre du **biomonitoring (BMH-Wal)**, visant à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement, des données ont été collectées concernant les PCB. Les PCB suivants étudiés, ont également été analysés dans le cadre de ce suivi :

- PCB-28 (CAS : 7012-37-5)
- PCB-52 (CAS : 35693-99-3)
- PCB-101 (CAS : 37680-73-2)
- PCB-118 (CAS : 31508-00-6)

- PCB-138 (CAS : 35065-28-2)
- PCB-153 (CAS : 35065-27-1)
- PCB-180 (CAS : 35065-29-3)

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexe C8.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), les PCB (101, 105, 114, 118, 123, 126, 138, 153, 156, 157, 167, 169, 180, 189, 28, 52, 77 et 81) ont été analysés. Au total, ces PCB ont été mesurés 2622 fois, avec des concentrations comprises entre 0,0102858 µg/L et 0,0000107 µg/L. Les données détaillées figurent en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : Selon les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse spécifique aux PCB n'a été réalisée. Les PCB pris en compte dans notre étude n'ont pas encore été analysés dans les sols et les eaux souterraines à Bruxelles.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

En réponse à cette demande, le VMM nous a indiqué que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas analysées dans les eaux souterraines. Cependant, une recherche a été réalisée avec la base de données relative au biote et à l'eau de surface. Les PCB identifiés dans notre étude ont également été détectés en Région flamande, principalement dans le biote et, dans une moindre mesure, dans les eaux de surface. Plus précisément :

- L'ensemble des 18 PCB sélectionnés a été retrouvé dans les analyses du biote en Flandre ;
- Dans les eaux souterraines, seuls les PCB dioxin-like (101, 138, 153, 180, 28 et 52) ainsi que le PCB classé à la fois comme dioxin-like et non-dioxin-like (118) ont été analysés.

Pour des informations détaillées sur l'occurrence et les concentrations de ces PCB en Flandre, veuillez vous référer à l'Annexe C7.

L'occurrence des pollutions **à l'international** a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Le **bio monitoring "European Human Dashboard"** n'a pas fait d'analyse pour les PCB. Aucune donnée n'est donc disponible pour cette famille.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
PCB 28	7012-37-5	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 52	35693-99-3	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal

Nom de la substance	N°CAS	Source
PCB 101	37680-73-2	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 118	31508-00-6	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 138	35065-28-2	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 153	35065-27-1	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 180	35065-29-3	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Programme de recherche BioDiEn Bruxelles Environnement Bio monitoring BMH-Wal
PCB 77	32598-13-3	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 81	70362-50-4	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 126	57465-28-8	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 169	32774-16-6	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 105	32598-14-4	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 114	74472-37-0	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 123	65510-44-3	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 156	38380-08-4	Bio monitoring (BIOPRO) VVM

Nom de la substance	N°CAS	Source
		Bruxelles Environnement
PCB 157	69782-90-7	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 167	52663-72-6	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement
PCB 189	39635-31-9	Bio monitoring (BIOPRO) VVM Bruxelles Environnement

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 8.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 18 PCB retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annex B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille des PCB, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances et également discuté.

### Volatilité

Les PCBs peuvent être principalement qualifiés de non volatils. Pour les 18 substances retenues, la pression de vapeur varie entre  $1,8 \times 10^{-6}$  et 0,008 Pa et illustre une faible volatilité ( $< 133$  Pa sur base du Tableau 2-3 et  $> 10$  Pa selon le GRER). De même, la constante de Henry des substances est comprise entre 0,85 et 88,14 Pa.m<sup>3</sup>/mol, ce qui est représentatif de composés faiblement volatils ( $< 100$  Pa/m<sup>3</sup>/mol selon le Tableau 2-3).

### Solubilité

La solubilité des PCBs retenus est de l'ordre de grandeur de  $10^{-01}$  à  $10^{-05}$  mg/L, ce qui est représentatif d'une faible solubilité dans l'eau ( $< 150$  mg/L).

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer. Parmi les données collectées, les PCBs sélectionnés ont un log Koc moyen de 5,44, avec des valeurs comprises entre 4,61 et 6,67. Ils peuvent donc être considérés comme ayant une bonne affinité avec la matière organique et sont peu mobiles (log Koc  $> 3$  ((limite fixée dans le Règlement CLP)).

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Parmi les données récoltées, les PCBs ont un log Kow compris entre 5,62 et 7,6, supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), ce qui est indicatif d'un potentiel accru à s'accumuler dans les organismes vivants. Les PCBs sont également reconnus comme substances POP, ce qui confirme le caractère bioaccumulable de ces substances.

### Persistance

Les PCBs sont reconnus comme substances persistantes dans l'environnement.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les PCB sélectionnés ont une densité plus élevée que l'eau ce qui induit un écoulement vertical.

### Profil (éco)toxicologique

D'un point de vue (éco)toxicologique, la classification STOT RE (specific target organ toxicity arising from repeated exposure / H373), ainsi qu'une toxicité aiguë et chronique pour le milieu aquatique (H400, H410) sont présents pour la majorité des substances. Les PCBs présentent également un risque cancérogène (classe "K").

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces PCB ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient être potentiellement utilisées pour la tâche 4.

## 8.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les PCB sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, la méthode la plus largement utilisée est la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, ainsi que la chromatographie en phase gazeuse avec détection par capture d'électrons.

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête concerne les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

#### Annexe D1.

Les annexes d'accréditations des laboratoires en Belgique montrent que les PCB-28, -52, -101, -188, -138, -153 et -180 sont analysés au sein des quatre laboratoires agréés en Région Wallonne.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

## 9 Plastifiants

### 9.1 Description chimique et classification

#### 9.1.1 Description générale

Les plastifiants sont des substances couramment utilisées pour assouplir les matières plastiques, en particulier au PVC. Une grande partie d'entre eux sont dérivés de l'acide phtalique (acide benzène-1,2-dicarboxylique), sous forme de sels et d'esters, et sont regroupés sous le terme de phtalates. Toutefois, il existe également des plastifiants dérivés d'autres composés chimiques, qui ne sont pas liés à l'acide phtalique.

Dans le cadre de notre étude, plusieurs sous-groupes de plastifiants ont été identifiés, parmi lesquels :

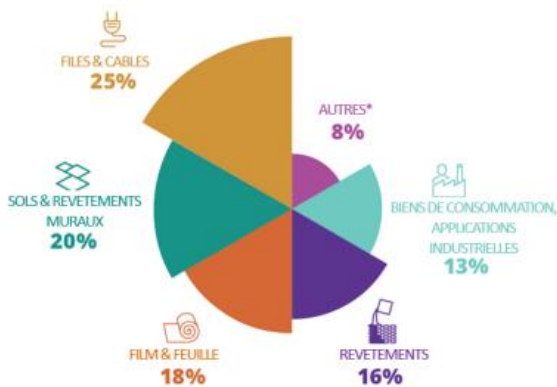
- Les phtalates (principal sous-groupe)
- Les cyclohexanoates
- Les benzoates
- Les téréphtalates
- Les trimellitates
- Les adipates
- Les huiles
- Les phosphates
- Les acétates
- Les sébacates
- Les azélates
- Les alkylsulfonates
- Les citrates
- Les butyrates
- Les esters acétylés du glycérol
- Les esters alkyles
- Les glycérols
- Et d'autres composés divers

La plupart de ces substances sont des liquides incolores, peu volatils et presque inodores. Elles sont principalement utilisées comme plastifiants dans de nombreux produits de consommation courante et industriels.

Les plastifiants sont présents dans divers secteurs, notamment (Santraine, O., & Pruniaux, R., 2023 ; Santé Canada, s.d. ; ECHA, s.d.) :

- Plastique et PVC, qui sont ensuite intégrés dans une large gamme de produits ;
- Solvants dans des produits domestiques et industriels ;
- Textile ;
- Produits électriques et électroniques ;
- Jouet pour enfant ;
- Revêtement, notamment des sols ;
- Film ;
- Autres.

## UTILISATION DES PLASTIFIANTS EN EUROPE (2017)



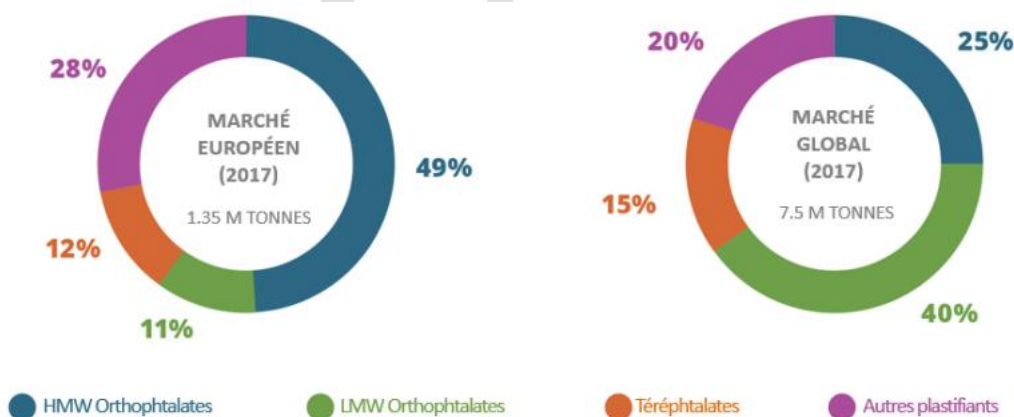
\*Autres: Élastomères, revêtements de surface, composés de caoutchouc, applications médicales  
Source: 2018 IHS et estimation de European Plasticisers

Figure 7 – Utilisation des plastifiants en UE en 2017 (European Plasticisers, 2020)

La consommation mondiale de plastifiants est largement dominée par le DEHP, qui représente environ 40 % de la demande globale. Ce plastifiant (sous-groupe des phtalates), bien qu'interdit en Europe en raison de sa toxicité, reste couramment utilisé dans des régions telles que la Chine, l'Inde, l'Asie, le Moyen-Orient et l'Amérique latine, où la réglementation est moins stricte. Ainsi, des produits contenant du DEHP continuent d'être importés en Europe (European Plasticisers, 2020 ; ECHA, s.d. ; HBM4EU, s.d.). Outre le DEHP, d'autres plastifiants (sous-groupe des phtalates) comme le DINP, le DiBP, le DBP et le BBP ont été produits et utilisés à grande échelle par le passé (ECHA, s.d.). En Europe, ces plastifiants (majoritairement issus du sous-groupe des phtalates) ont progressivement été remplacés par des phtalates à chaîne plus longue ou par des substituts appartenant à d'autres sous-groupes, tels que les acétates ou les citrates, considérés comme moins nocifs. Toutefois, bien que certains de ces composés soient interdits, leur présence sur le marché reste significative, notamment dans certains produits importés (HBM4EU, s.d.).

Comme illustré dans la Figure 8 ci-dessous, la consommation de plastifiants sur le marché européen en 2017 était estimée à 1,35 million de tonnes, tandis que la consommation mondiale atteignait environ 7,5 millions de tonnes.

En Europe, en 2017, l'usage des orthophtalates à chaîne longue prédomine, tandis qu'à l'échelle mondiale, ce sont principalement les orthophtalates à chaîne courte qui sont les plus utilisés. Par ailleurs, toujours en Europe, 28 % des plastifiants employés cette même année ne sont pas dérivés de l'acide phtalique et relèvent donc des autres sous-groupes identifiés dans cette étude.



Source: 2018 IHS et estimation de European Plasticisers

Figure 8 – Estimation des plastifiants en UE et dans le monde (European Plasticisers, 2020)

Étant donné leur utilisation répandue, il est très probable que l'homme et son environnement soient quotidiennement exposés aux plastifiants (HBM4EU, s.d.).

## 9.1.2 Sélection de composés prioritaires

Une liste de 110 plastifiants a été établie. Cette liste a été élaborée en se basant sur plusieurs sources, notamment sur base de l'ECHA, de l'EPA, ainsi que d'autres sources retrouvées dans la littérature.

À partir de ces 110 substances, un processus de sélection a été mis en œuvre, conduisant à la présélection de 41 substances parmi les plastifiants. Les détails de ce processus sont présentés dans l'Annexe A2.

Il convient de noter que 27 substances figurent déjà dans la liste des retardateurs de flammes et ne sont donc pas incluses dans la famille des plastifiants (pour éviter les doublons).

## 9.2 Description des activités historiques et actuelles

Les plastifiants sont principalement utilisés pour assouplir les plastiques, ainsi que comme solvants dans divers produits. On les retrouve également dans diverses applications, notamment :

- Biens de consommation courante : cosmétiques, produits de santé naturels, médicaments, tissus, textiles, produits électriques et électroniques, revêtements de sol, emballages, matériaux en contact avec les aliments, équipements sportifs, ainsi que dans les encres d'imprimerie ;
- Produits pharmaceutiques : notamment dans les produits antiparasitaires ;
- Secteur de la construction : peintures, enduits, lubrifiants, graisses, matériaux, adhésifs et produits d'étanchéité ;
- Applications médicales : dispositifs médicaux ;
- Produits pour enfants.

Les données recueillies dans la littérature ont été regroupées dans la base de données (Annexe B1 – tâche 2), lesquelles détaillent l'utilisation des substances dans divers produits ou secteurs.

Une recherche des substances sélectionnées a également été réalisée avec la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française). Toutefois, les plastifiants inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cette base de données.

Une recherche a également été effectuée dans l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Trois plastifiants sélectionnés dans notre étude, sont également répertoriés dans cet inventaire :

- Nonylphenol (CAS : 25154-52-3)
- N-Methyl-2-pyrrolidone (CAS : 872-50-4)
- Phtalate de n-pentyl isopentyle (CAS: 776297-69-9)

Cet inventaire est présenté sous forme d'un tableau Excel fournissant des informations complémentaires sur ces substances extrêmement préoccupantes, on retrouve notamment des détails sur leur utilisation et secteurs d'application, les quantités ou encore les limites de quantification. Dans le cadre de cette étude, un document PDF a été créé contenant les caractéristiques des trois plastifiants présents à la fois dans l'inventaire et dans notre sélection. Le fichier PDF comparatif est attaché en Annexe C2, en plus du rapport approprié.

Les études de sol réalisées en Wallonie ont recherché et parfois détecté la présence de plastifiants dans divers contextes, notamment l'industrie du plastique (quelques dossiers), les décharges et le traitement des déchets (3 dossiers), la sidérurgie (1 dossier), ainsi que des activités diverses (3 dossiers) comme la papeterie, les explosifs et l'électronique. Ces substances ont été parfois quantifiées dans le sol et les eaux souterraines.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des plastifiants : pharmaceutique, médical et de la construction, ainsi que dans de nombreux objets du quotidien. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des plastifiants dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 9.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les plastifiants a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour la **Région Wallonne** ont été prises en compte au sein des bio monitorings ci-dessous :

Les plastifiants n'ont pas fait l'objet du **bio monitoring (BIOPRO)** qui analyse les niveaux d'imprégnation des riverains habitant à proximité de sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région Wallonne et Bruxelles-capital, des données ont été collectées concernant les plastifiants dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP. Une recherche a été établie pour identifier les plastifiants sélectionnés dans le cadre de cette étude dans les données du biomonitoring. Neuf substances étudiées ont été mesurées dans le cadre de ce suivi :

- Benzyl butyl phtalate (BBP) (CAS: 85-68-7)
- Dibutyl phtalate (DBP) (CAS: 84-74-2)
- Dicyclohexyl phtalate (DCHP) (CAS: 84-61-7)
- Diéthyl phtalate (DEP) (CAS: 84-66-2)
- Di-éthylhexylphtalate (DEHP) (CAS: 117-81-7)
- Diméthyl phtalate (DMP) (CAS: 131-11-3)
- Di-n-octyl phtalate (DOP) (CAS: 117-84-0)
- Dipropyl phtalate (DPP) (CAS: 84-74-2)

Dans le cadre du **biomonitoring (BMH-Wal)**, visant à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement, des données ont été collectées concernant les plastifiants. Le plastifiant suivant étudié, a également été analysé dans le cadre de ce suivi :

- DEP (CAS : 84-66-2)

Les détails des résultats de ce biomonitoring sont présentés en annexe C8.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le plastifiant suivant a été analysé : nonylphénol (CAS 25154-52-3). Le nonylphénol a été analysé 62 fois, avec des concentrations comprises entre 0,19 et < 0,1 µg/L. Ces données sont disponibles en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : D'après les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse concernant les retardateurs de flamme n'a été effectuée. Les retardateurs de flamme étudiés dans notre étude n'ont pas encore été analysés à Bruxelles dans les analyses de sol et d'eau souterraine.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement.

Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les sédiments et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

En réponse à cette demande, le VMM nous a indiqué que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas analysées dans les eaux souterraines. Une recherche a été réalisée dans la base de données relative au biote et à l'eau de surface. Aucun phtalate sélectionné n'a été mesuré en Flandres dans le biote. Cependant, les plastifiants suivants ont été analysés dans les eaux de surface en Flandres :

- Phtalate de bis(2-éthylhexyle) (CAS : 117-81-7) ;
- Phtalate de benzyle et de butyle (CAS : 85-68-7) ;
- Phtalate de dicyclohexyle (CAS : 84-61-7) ;
- Phtalate de diéthyle (CAS : 84-66-2) ;
- Phtalate de diisobutyle (CAS : 84-69-5) ;
- Phtalate de diméthyle (CAS : 131-11-3) ;
- Phtalate de dibutyle (CAS : 84-74-2) ;
- Phtalate de di-n-octyle (CAS : 117-84-0) ;
- Dipentylphtalate (CAS : 131-18-0) ;
- Nonylphenol\*1 (CAS : 25154-52-3) ;
- Tributyl phosphate (CAS : 126-73-8).

L'occurrence des pollutions à l'international a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du biomonitoring "European Human Dashboard", aucun phtalate sélectionné dans notre étude, ont également fait l'objet de recherche au sein de ce bio monitoring.

À noter que d'autres plastifiants non présélectionnés dans notre étude ont également été détectés avec des valeurs significatives lors de ce biomonitoring. Des graphiques inclus en Annexe C6 permettent de visualiser les résultats des mesures sur les plastifiants dans ce biomonitoring.

Il convient de souligner que le programme HBM4EU, issu du programme de financement de la recherche et de l'innovation HORIZON 2020 de l'Union européenne, qui soutient notamment des études de biosurveillance humaine, a révélé la présence de métabolites de plastifiants dans le sang ou les urines des populations étudiées. Ces résultats suggèrent qu'une grande majorité de la population européenne est continuellement exposée à de faibles doses de plastifiants (HBM4EU, 2020).

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
Benzyl butyl phtalate (BBP)	85-68-7	Programme de recherche BioDiEn VVM
Dibutyl phtalate (DBP)	84-74-2	Programme de recherche BioDiEn VVM
Dicyclohexyl phtalate (DCHP)	84-61-7	Programme de recherche BioDiEn VVM
Diéthyl phtalate (DEP)	84-66-2	Programme de recherche BioDiEn VVM Bio monitoring BMH-Wal
Di-éthylhexylphtalate (DEHP)	117-81-7	Programme de recherche BioDiEn VVM
Diméthyl phtalate (DMP)	131-11-3	Programme de recherche BioDiEn VVM
Di-n-octyl phtalate (DOP)	117-84-0	Programme de recherche BioDiEn
Phtalate de diisobutyle	84-69-5	VVM
Phtalate de di-n-octyle	117-84-0	VVM

Nom de la substance	N°CAS	Source
Dipentylphtalate	131-18-0	VVM
Nonylphenol*1	25154-52-3	VVM Bruxelles Environnement
Tributyl phosphate	126-73-8	VVM

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 9.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les 41 plastifiants retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annexe B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille de plastifiants, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances est également discuté.

Puisque l'exercice de présélection a été réalisé sur le caractère préoccupant de certains de ces critères (par exemple, le caractère persistant, bioaccumulable ou toxique des substances), certains profils majoritaires qui ressortent dans l'analyse des données récoltées sont naturellement influencés par cette présélection.

### Volatilité

La pression de vapeur et la constante de Henry sont généralement utilisées afin de définir la volatilité des substances (BRGM, 2008).

Les substances retenues présentent une constante de Henry entre  $10^{-5}$  et 211 Pa.m<sup>3</sup>/mol. D'après le Tableau 2-3, un composé est classé comme faiblement volatil s'il a une constante de Henry inférieure à 100, comme volatil s'il se situe entre 100 et 500, et comme très volatil s'il est supérieur à 500. Parmi les composés répertoriés, seuls deux composés sont considérés comme volatils (DIPN (CAS : 38640-62-9) et le 2-Nonylphenol (CAS : 25154-52-3)). Les autres étant considérés comme non volatils selon cette classification (en excluant ceux pour lesquels aucune information n'a été trouvée).

La pression de vapeur des substances retenues est comprise entre  $10^{-5}$  et 100 Pa. Sur base du Tableau 2-3, un composé est considéré comme volatil s'il possède une pression de vapeur égale ou supérieure à 133 Pa : Parmi les composés présents, les 41 ont une pression de vapeur inférieure à 133 Pa, et sont donc classés comme non volatils (en excluant ceux pour lesquels aucune information n'a été trouvée). Selon le GRER, un composé est classé comme volatil s'il a une pression de vapeur supérieure à 10 Pa : Parmi les composés répertoriés, trois ont une pression de vapeur supérieure à 10 Pa et sont donc qualifiés de volatils. Les autres plastifiants peuvent être considérés comme non volatils (en excluant ceux pour lesquels aucune information n'a été trouvée).

En résumé, les substances retenues dans le groupe des plastifiants sont donc principalement non-volatils.

### Solubilité

La solubilité dans l'eau est la capacité d'une substance à se dissoudre dans l'eau. Plus la solubilité est élevée, plus la substance est mobile. Parmi les 41 substances sélectionnées, leurs solubilités varient de  $10^E-6$  à  $10^E+6$  mg/l. Neuf de ces substances sont considérées comme solubles, car leur solubilité dépasse les 150 mg/l. Tandis que les autres peuvent être classées comme peu solubles.

Parmi les substances les plus solubles (ayant une solubilité supérieure à 150 mg/l), on peut citer :

- DMP (CAS : 131-11-3)
- DEP (CAS : 84-66-2)
- TiBP (CAS : 126-71-6)
- TBP (CAS : 126-73-8)
- Triethyl citrate (CAS : 77-93-0)
- RC 84 (CAS : 947-19-3)
- BBSA / NBBS (CAS : 3622-84-2)
- ACTCOL 21-56K (CAS : 25322-69-4)
- GTA (CAS : 102-76-1)

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer.

Parmi les données collectées, les plastifiants sélectionnés ont un log Koc compris entre 0,1 et 22,96, dont 24 ayant un log Koc supérieur à 3 (limite fixée dans le Règlement CLP, au-delà de laquelle une substance est considérée comme peu mobile). Un seul composé a un log Koc inférieur à 1. En résumé, les substances retenues dans la famille des plastifiants ont donc un profil variable en termes de mobilité.

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Parmi les données récoltées, les plastifiants ont un log Kow compris entre 0,01 et 9,52. Le log Kow moyen des plastifiants sélectionnés est de 5, supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), signifiant que ceux-ci sont considérés comme très hydrophobes. En effet, il est établi que les substances organiques présentant une valeur expérimentale de log (Kow) égale ou supérieure à 5 sont considérées comme très hydrophobes (VITO, 2023).

### Persistence

Les substances retenues ont un profil variable en termes de persistance dans l'environnement. Les demi-vies des substances varient entre 3 et 300 jours, incluant des exemples tels que le DEHP (DOP), DiNP, DiDP et le 2-Nonylphenol incluant des demi-vies de 300 jours.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement.

Le comportement des plastifiants sélectionnés varie selon les composés : 23 d'entre eux présentent une densité supérieure, entraînant un écoulement vertical, tandis que 17 ont une densité inférieure, ce qui signifie qu'ils restent en surface d'une masse d'eau.

### Profil (eco)toxicologique

D'un point de vue (**eco**)toxicologique, les plastifiants présentent principalement un risque au niveau reprotoxique, avec un grand nombre de substances classées (ou suspectées) de reprotoxiques (H360, H361). Le potentiel perturbateur endocrinien des substances du groupe ressort également, avec un nombre de substances déjà identifiées (ou en cours d'évaluation) en tant que perturbateurs endocriniens pour l'homme et/ou l'environnement.

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces plastifiants ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient être potentiellement utilisées pour la tâche 4.

## 9.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les plastifiants sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, les méthodes suivantes sont utilisées :

- Extraction liquide-liquide (Exr. L-L)
- Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)
- Chromatographie en phase gazeuse avec détection par capture d'électrons (GC-ECD)
- Chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme et spectrométrie de masse (GC-FID-MS)
- Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem (GC-MS-MS)
- Chromatographie en phase liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse (HPLC-MS)
- Chromatographie en phase liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (HPLC-MS-MS)
- Pyrolyse couplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la spectrométrie de masse (Py-GC-MS)
- Extraction en phase solide couplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la spectrométrie de masse (SPE-GC-MS)

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes de référence des laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1.

Aux Pays-Bas, 12 plastifiants sélectionnés sont analysés par Alwest.

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

# 10 Polychloronaphtalènes (PCN)

## 10.1 Description chimique et classification

### 10.1.1 Description générale

Les polychloronaphtalènes (PCN) sont des composés chimiques dérivés du naphtalène, dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de chlore. Ils se divisent en 8 groupes homologues, regroupant un total de 75 congénères. D'un point de vue chimique et toxicologique, ils présentent de nombreuses similitudes avec les PCB.

Utilisés couramment entre 1910 et 1970, les PCN étaient prisés pour leurs faibles inflammabilités, stabilité chimique, excellentes propriétés d'isolation électrique, ainsi que pour leur effet biocide et leur résistance à la biodégradation (PNUE, 2021). Ils sont considérés comme hydrophobes, modérément volatiles et classés parmi les substances persistantes, bio accumulatives et toxiques (INERIS, 2011).

Ces composés étaient principalement intégrés dans des mélanges commerciaux, commercialisés sous divers noms tels que Halowac, Nibren waxes et Seekay waxes. Bien que leur production mondiale soit souvent comparée à celle des PCB, elle ne représentait qu'environ 10 % de celle-ci, avec une estimation totale avoisinant 150 000 tonnes métriques (Van de Plassche, E., & Schwegler, A., 2002).

### 10.1.2 Sélection de composés prioritaires

Sur base de la littérature, une liste de huit polychloronaphtalènes (PCN) a été établie, correspondant aux huit groupes homologues : mono-, di-, tri-, tétra-, penta-, hexa-, hepta- et octachloronaphtalène. Cette liste, disponible en Annexe A2, comprend les numéros CAS de chaque groupe homologue, chacun étant associé à une substance représentative du groupe (par exemple, le 1-chloronaphtalène représente les monochloronaphtalènes).

## 10.2 Description des activités historiques et actuelles

Sur base de la littérature, les PCN étaient utilisés dans divers produits tels que l'isolation des câbles, la préservation du bois, les additifs d'huiles moteurs, les peintures, les condensateurs, les batteries et le matériel militaire (PNUE, 2021).

En plus de leur fabrication intentionnelle, ils peuvent également être produits involontairement lors de procédés industriels tels que la production de PCB, de solvants chlorés, de paraffines chlorées et de chlore (PNUE, 2021).

On les retrouve aussi dans des processus thermiques, notamment l'incinération, l'industrie métallurgique et les décharges, où leur formation est favorisée (Van de Plassche, E., & Schwegler, A., 2002).

D'après (PNUE, 2021), les principales sources de contamination des sols par les PCN se situeraient principalement aux abords des sites de production, des usines utilisant du chlore et des industries exploitant des fours électriques à arc, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Table 10: PCN levels in environmental matrices impacted and not impacted by industrial sources

Sample matrix	Level of PCN contamination	References
Soil at (former) PCN production site	1300,000 µg/kg	USEPA 1977
Soil at chloralkali plant	7,400 – 18,000 µg/kg	Bavel et al 1999; IPCS 2001
Soil at electric arc furnace	10 µg/kg	Odabasi et al. 2017
Soil (background)	0.003 µg/kg	Odabasi et al. 2017

Cependant, la production de PCN a cessé depuis les années 1970-1980 (PubChem).

Une recherche des substances sélectionnées a également été effectuée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française). Toutefois, les PCN inclus dans notre sélection, n'étaient pas repris dans cette base de données.

Une recherche a aussi été effectuée avec l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Aucun PCN n'a été répertorié dans cet inventaire.

Les études de sol menées en Wallonie ont investigué la présence de PCN dans des contextes tels que les industries chimiques (3 dossiers) et le traitement des déchets (2 dossiers). Cependant, ces substances n'ont jamais été quantifiées dans le sol ni dans les eaux souterraines (5 dossiers).

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation des PCN : industrie électrique et électronique, industrie chimique, industrie du bois, industrie des lubrifiants, ainsi que dans les processus thermiques. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des PCN dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 10.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour les PCN a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour la **Région Wallonne** ont été prises en compte au sein des bio monitorings ci-dessous :

Les PCN n'ont pas été inclus dans les analyses du programme de **biomonitoring (BIOPRO)**, qui étudie les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité des sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région Wallonne et Bruxelles-capital, aucune donnée n'a été collectée concernant les PCN dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP.

Les PCN n'ont pas fait l'objet du **bio monitoring (BMH-Wal)** qui vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement.

La **région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le PCN 1-chloronaphtalène (CAS 25586-43-0) a été analysé à 31 reprises, avec des concentrations inférieures à la limite de détection (< 0,01 µg/L). Les données détaillées sont disponibles en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : D'après les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse concernant les retardateurs de flamme n'a été effectuée. Les retardateurs de flamme étudiés dans notre étude n'ont pas encore été analysés à Bruxelles dans les analyses de sol et d'eau souterraine.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

En réponse à cette demande, le VMM nous a indiqué que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont actuellement pas analysées dans les eaux souterraines. De plus, aucun PCN sélectionné n'a été mesuré en Flandres dans les eaux de surface et biote.

L'occurrence des pollutions **à l'international** a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du "European Human Biomonitoring Dashboard".

Dans le cadre du **biomonitoring "European Human Dashboard"**, aucun PCN sélectionné dans notre étude, n'a également fait l'objet de recherche au sein de ce bio monitoring.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
1-chloronaphtalène	25586-43-0	Bruxelles Environnement

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 10.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour les PCN retenus dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annex B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour la famille des PCN, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances et également discuté.

### Volatilité

Les PCNs peuvent être qualifiés de non volatils. En effet, pour l'ensemble des substances retenues, la pression de vapeur est  $< 133$  Pa et la constante de Henry est comprise entre 1,11 et 47,34 Pa.m<sup>3</sup>/mol ( $< 100$  Pas.m<sup>3</sup>/mol sur base du Tableau 2-3).

### Solubilité

Les PCNs ont une faible solubilité, avec des valeurs comprises entre 2,6E-03 et 80 mg/L ( $< 150$  mg/L).

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer. Les PCN ont un log Koc compris entre 3,21 et 6,021, en moyenne de 4,73. Ils peuvent être considérés comme ayant une bonne affinité avec la matière organique et une mobilité réduite (log Koc  $> 3$  (limite fixée dans le Règlement CLP)).

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Les PCN ont un log Kow compris entre 4,08 et 9,13. Majoritairement au-dessus de 5, supérieurs à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP), ils peuvent être considérés comme hydrophobes, avec un potentiel à s'accumuler dans les organismes vivants. Les PCN sont repris sur la liste POP, ce qui confirme leur profil bioaccumulable.

### Persistance

La présence des PCN sur la liste POP indique également que ces substances sont persistantes dans l'environnement.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Les PCB ont une densité plus élevée que l'eau, ce qui induit un écoulement vertical de ces molécules.

### **Profil (eco)toxicologique**

Sur le **plan (éco)toxicologique**, aucune donnée représentative n'a été retenue dans les sources consultées puisqu'en raison de l'arrêt de leur production, ces substances ne disposent pas de dossier REACH.

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces PCN ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient potentiellement être utilisées pour la tâche 4.

## **10.5 Description des méthodes analytiques disponibles**

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour les PCN sélectionnés, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, la méthode la plus largement utilisée est la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées, ainsi que de leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1. Les laboratoires Eurofins et SGS, semblent être les seuls laboratoires en Belgique qui réalisent des analyses sur le 1-chloronaphtalène (CAS : 25586-43-0).

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

# 11 Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP)

## 11.1 Description chimique et classification

### 11.1.1 Description générale

Les halogénoalcanes à chaîne courte, également appelés paraffines chlorées à chaîne courte, sont des alcanes dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de chlore. Reconnus pour leur efficacité en tant qu'ignifugeants, ces composés se présentent le plus souvent sous forme de mélanges de chaînes carbonées de différentes longueurs, avec un degré de chloration variant entre 40 et 70 % (INERIS, 2005).

On les retrouve principalement dans les fluides d'usinage des métaux, comme retardateurs de flammes dans des produits tels que le textile et le caoutchouc, ainsi que dans la fabrication de matériaux de construction (peintures, mastics, etc.) et du cuir.

Les SCCP sont considérés comme des substances toxiques, résistantes à la dégradation et capables de s'accumuler dans les tissus adipeux (Stockholm convention, 2021).

Leur consommation a atteint un pic dans les années 1990, avec environ 13 000 tonnes utilisées en Europe en 1994 selon Lettington et al. (INERIS, 2005). Toutefois, elle a fortement diminué dans les années 2000, notamment en 2003, suite à l'adoption d'un décret quasi interdisant leur usage (INERIS, 2005). Malgré l'arrêt de leur production, leur grande stabilité dans l'environnement entraîne une accumulation persistante. Depuis, les paraffines chlorées à chaîne moyenne et longue ont progressivement remplacé les SCCP.

### 11.1.2 Sélection de composés prioritaires

En s'appuyant sur les listes POP et Norman, une liste complète de SCCP a été élaborée, regroupant 227 congénères différents, disponible en Annexe 2. Après sélection, 71 paraffines chlorées à chaîne courte ont été retenues pour cette étude. Parmi celles-ci, 70 figurent déjà dans la base de données des retardateurs de flammes.

## 11.2 Description des activités historiques et actuelles

D'après la littérature, les SCCP sont employés dans divers secteurs (INERIS, 2005, Stockholm convention, 2021) :

- Fluides d'usinage des métaux : utilisés comme lubrifiants et agents de refroidissement ;
- Retardateurs de flammes : intégrés dans l'industrie du textile, du caoutchouc et du plastique, etc. ;
- Apprêt : appliqués dans l'industrie du textile et du cuir ;
- Diluants et adhésifs : utilisés dans la fabrication de peintures, mastics, colles, etc.

Le *Tableau 11-1* ci-dessous, tiré du rapport d'évaluation des risques de l'UE sur les SCCP (Commission européenne, 1999), met en avant l'impact des différents secteurs utilisant des SCCP sur le sol. Selon ce rapport, l'usage des SCCP dans l'industrie du travail des métaux (fluides d'usinage) et dans les finitions du cuir présente un risque environnemental, notamment en raison de leur toxicité pour le milieu aquatique et de leur bioaccumulation chez les prédateurs de la chaîne alimentaire. En revanche, l'impact des sites de production de SCCP, des installations fabriquant peintures et produits d'étanchéité à base de SCCP, ainsi que de leur application dans l'industrie textile, est jugé négligeable.

Tableau 11-1 : Évaluation des risques environnementaux Alcanes C10-13, Chloro (Commission européenne, 1999)

Sol	Production (spécifique au site)	20,1 mg/kg	négligeable
	Travail des métaux (formulation)	5,1 ou 23,2	251
	Travail des métaux (utilisation)	mg/kg1 < 0,073 mg/kg	64 ou 290
	Formulations de caoutchouc	négligeable 385	<0,92
	Peintures et produits d'étanchéité	mg/kg 385	négligeable
	Cuir (formulation)	mg/kg	4 813
	Cuir (usage)	négligeable	4 813
	Applications textiles	10,8 mg/kg	négligeable
	Sources régionales	2,6 mg/kg	135

Par ailleurs, une recherche a également été effectuée dans la base de données du BRGM (matrice polluants-activité française) pour la substance sélectionnée. Des informations complémentaires ont pu être obtenues pour le SCCP présélectionné dans le cadre de cette étude.

Nom de la substance	N°CAS	Secteur d'activité
C10-C13 chloro alcanes	85535-84-8	Industrie manufacturière Secteur de la construction Commerce et réparation d'automobile et de motocycles

Les activités spécifiques au sein de ces différents secteurs d'activités sont détaillées dans l'Annexe C1.

Une recherche a également été effectuée dans l'inventaire des substances considérées comme « extrêmement préoccupantes » aux Pays-Bas. Le SCCP (C10-C13 chloro alcane) sélectionné dans notre étude, est également répertorié dans cet inventaire.

Cet inventaire est présenté sous forme d'un tableau Excel fournissant des informations complémentaires sur ces substances extrêmement préoccupantes, on retrouve notamment des détails sur leur utilisation et secteurs d'application, les quantités ou encore les limites de quantification. Sur base de cet inventaire, cette substance est notamment utilisée comme retardateur de flamme, ainsi que dans l'industrie du caoutchouc, du textile et du revêtement. Dans le cadre de cette étude, un document PDF a été créé contenant les caractéristiques de cette substance présente à la fois dans l'inventaire et dans notre sélection. Le fichier PDF comparatif est attaché en Annexe C2, en plus du rapport approprié.

En résumé, compte tenu des données récoltées, les secteurs suivants sont associés à la production et/ou utilisation du SCCP : industrie manufacturière, la construction et l'automobile. Notamment dans des activités liées à l'utilisation de fluides d'usinage des métaux, de retardateurs de flammes dans les textiles et le caoutchouc, ainsi que de la fabrication du cuir et de matériaux de construction tels que les peintures et mastics. Par ailleurs, il est également possible de retrouver des SCCP dans la fin de vie des produits décrits ci-dessus c'est-à-dire dans les décharges et stations d'épuration.

## 11.3 Occurrence des pollutions identifiées

Une recherche sur l'occurrence des pollutions pour le C10-C13 chloro alcane a été réalisée pour chacune des régions en Belgique, ainsi qu'à l'international. Cette recherche a pour but de pouvoir identifier les activités à risque, les substances qui ont déjà été analysées et les pollutions retrouvées.

Des données disponibles pour **la Région wallonne** ont été prises en compte au sein des bio monitorings ci-dessous :

Le SCCP (C10-C13 chloro alcane) n'a pas été inclus dans les analyses du programme de **biomonitoring (BIOPRO)**, qui étudie les niveaux d'imprégnation des riverains vivant à proximité des sites de broyage de métaux en Wallonie (RAP-24-00663, 2024).

Dans le cadre du **Programme de recherche BioDiEn** (Rapport N°2018-01690), dont l'objectif est d'analyser la présence de perturbateurs endocriniens dans les eaux de la Région Wallonne et Bruxelles-capitale, aucune donnée n'a été collectée concernant le SCCP (C10-C13 chloro alcane) dans les eaux souterraines, potabilisables, de surface et de STEP.

Le SCCP n'a pas fait l'objet du **bio monitoring (BMH-Wal)** qui vise à déterminer des valeurs de référence d'exposition des Wallon.ne.s en fonction de 6 catégories d'âge de la population wallonne face à un panel de polluants et de substances chimiques présents dans l'environnement.

Aucun dossier relatif aux études de sol en Wallonie n'a été transmis pour cette catégorie de substances.

**La région bruxelloise** dispose d'une liste des résultats d'analyses qui nous a été fournie, comprenant les analyses de sols et d'eaux souterraines (effectuées entre 1996 et 2024), ainsi que les analyses des eaux de surface réalisées sur son territoire entre 2022 et 2024.

- Dans les eaux de surface (à la sortie de Bruxelles, au niveau de la station ZEN OUT), le SCCP suivant a été analysé à 84 reprises : Chloroalcanes C10-C13 (CAS 85535-84-8), à des concentrations sous la valeur de détection de < 0,1 µg/L. Ces données sont disponibles en Annexe C5.
- Dans le sol et l'eau souterraine : D'après les données disponibles en Annexe C5, aucune analyse concernant le SCCP (C10-C13 chloro alcane) n'a été effectuée. Le SCCP étudié dans notre étude n'a pas encore été analysé à Bruxelles dans les analyses de sol et d'eau souterraine.

Les données relatives à la **Région flamande** sont accessibles sur le site de l'agence flamande de l'environnement. Elles sont classées par point de mesure en Flandre et portent sur les résultats d'analyses effectuées dans les eaux de surface, les sédiments et le biote. Une requête a été soumise au VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) pour obtenir l'accès aux bases de données globales concernant ces paramètres.

Sur base de cette demande, le VMM nous a informés que les substances sélectionnées dans le cadre de notre étude ne sont pas actuellement analysées dans les eaux souterraines. Par ailleurs, une recherche a été réalisée avec la base de données relative au « biote » et aux « eaux de surface ». Le SCCP (C10-C13 chloroalcanes) n'a pas été retrouvé dans la base de données des « eaux de surface ». Des alcanes chlorés ont été mesurés dans le biote en Flandres, bien que cela ne signifie pas nécessairement qu'il s'agit de SCCP, et plus précisément du SCCP C10-C13. Toutefois, étant donné que ces derniers sont les plus bioaccumulables et persistants dans l'environnement, il est probable qu'ils soient présents, au moins en partie. Pour des informations détaillées sur l'occurrence et les concentrations mesurées de ces alcanes chlorés dans le biote en Flandre, veuillez vous référer à l'Annexe C7.

L'occurrence des pollutions à l'**international** a été évaluée notamment via une enquête auprès du réseau mondial d'Arcadis ainsi qu'au sein du « European Human Biomonitoring Dashboard ».

Dans le cadre du **bio monitoring «European Human Dashboard»**, le SCCP (C10-C13 chloro alcane) n'a pas été recherché.

En conclusion, les données qu'on a pu acquérir dans le cadre de cette étude concernent les substances présélectionnées suivantes :

Nom de la substance	N°CAS	Source
Chloroalcanes C10-C13	85535-84-8	Bruxelles Environnement VMM

Les résultats des différents monitorings ont révélé que ces substances étaient analysées et parfois détectées dans l'environnement, ce qui suggère la possibilité de pollutions locales liées aux sociétés qui les utilisent ou les produisent.

## 11.4 Description du comportement dans l'environnement et profil (éco) toxicologique

Pour le SCCP retenu dans l'exercice de présélection, les caractéristiques physico-chimiques et (éco) toxicologiques ont été recherchées et recueillies dans une base de données disponible en Annexe B1.

Les paramètres physico-chimiques des substances permettent de caractériser leur comportement et devenir dans l'environnement. Dans ce chapitre, les phénomènes majeurs (solubilité, volatilité, mobilité, persistance, bioaccumulation) détaillant le comportement de ces substances sont décrits de manière générale pour le SCCP, sur base des informations recensées dans la base de données. Ce descriptif reprend uniquement les tendances générales définies sur base de paramètres clefs (décrits en Section 2.3.1.3.1), mais sans pouvoir tenir compte de spécificités qui pourraient s'appliquer à chaque substance individuellement, et sans pouvoir conclure sur la fiabilité des études expérimentales (ou prédictions) effectuées pour chaque donnée individuelle reprise dans la base de données. Le profil (éco) toxicologique général des substances et également discuté.

### Volatilité

Le Chloroalcanes C10-C13 (CAS : 85535-84-8) peut être qualifié de non volatil sur base de sa pression de vapeur de 0,021 Pa (< 133 Pa selon le Tableau 2-3 et < 10 Pa selon le GRER).

### Solubilité

Le Chloroalcanes C10-C13 (CAS : 85535-84-8) a une solubilité de 0,47 mg/l et est considéré comme faiblement soluble (< 150 mg/L).

### Mobilité

Le coefficient de partage carbone organique/eau (**Koc**) définit l'affinité du composé avec la matière organique. Plus une substance est adsorbée à la matière organique, plus sa mobilité dans l'eau va diminuer. Le Chloroalcanes C10-C13 (CAS : 85535-84-8) a un  $\log Koc = 5,30$ , ce qui induit que cette substance a une bonne affinité avec la matière organique et n'est pas considéré comme une substance mobile ( $\log Koc > 3$  (limite fixée dans le Règlement CLP)).

### Bioaccumulation

Le coefficient de partage eau/octanol (**Kow**) a pour but d'évaluer l'hydrophobicité d'un composé et donc son caractère lipophile, c'est-à-dire son affinité pour les graisses. Le Chloroalcanes C10-C13 (CAS : 85535-84-8) a un  $\log Kow$  qui varie entre 4,48 et 8,69, supérieur à la valeur de 4,5 (Règlement REACH et règlement CLP). Celui-ci peut être considéré comme très hydrophobe, et a un potentiel à s'accumuler dans les organismes vivants. Le caractère bioaccumulable de la substance est confirmé par sa présence sur la liste POP.

### Persistance

La présence de la substance sur la liste POP indique également qu'elle est persistante dans l'environnement. Ceci est également illustré par le caractère « not readily biodegradable » de la substance.

### Écoulement vertical du fluide

La densité d'une substance dans l'eau représente sa capacité à être retrouvée à la surface d'une masse d'eau ou à se disperser verticalement. Le Chloroalcanes C10-C13 (CAS : 85535-84-8) a une densité plus élevée que l'eau, ce qui induit un écoulement vertical de cette molécule.

### Profil (eco)toxicologique

Au niveau (éco) toxicologique, le SCCP (C10-C13 chloro alcane) a été évalué sous l'article 57 de REACH comme étant une substance PBT (persistante, bioaccumulable et toxique) et vPvB (très persistant et très bioaccumulable). La substance est classifiée comme étant suspectée d'être cancérigène (H351), et présente une toxicité aiguë et chronique pour le milieu aquatique (H400 et H410).

Par ailleurs, les **valeurs toxicologiques de référence (VTR)** associées à ces SCCP ont également été intégrées dans une base de données spécifique, disponible en Annexe B2. Ces VTR ne sont pas encore examinées dans le cadre de ce rapport préliminaire mais pourraient être potentiellement utilisées pour la tâche 4.

## 11.5 Description des méthodes analytiques disponibles

Pour présenter les différentes méthodes analytiques disponibles pour le SCCP sélectionné, une section spécifique de la base de données a été consacrée à cette tâche, et est disponible dans l'Annexe B1. Ces informations ont été recueillies dans la littérature ainsi qu'auprès des laboratoires en Belgique (Alwest, Eurofins, Servaco et SGS) et aux Pays-Bas (Alwest). Elles concernent notamment : la méthodologie, la matrice et les limites de quantification.

De manière générale, sur base de la littérature, la méthode la plus largement utilisée est la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

**Une enquête a été réalisée auprès des laboratoires agréés en Wallonie pour mieux caractériser les méthodes utilisées ainsi que leurs coûts associés. L'enquête a concerné les laboratoires Alwest, Eurofins, Servaco et SGS. Ces informations sont disponibles dans les Annexes D3 à D6. Également, les annexes d'accréditation de ces laboratoires sont disponibles en Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)**

Annexe D1. Le laboratoire Alwest B.V. semble être le seul laboratoire en Belgique qui réalise des analyses sur le C10-C13 chloroalcanes (CAS : 85535-84-8).

Au sein du **réseau Arcadis aux États-Unis**, des données d'analyse générales ont été recueillies. Notamment, un index de l'EPA, qui répertorie les méthodes analytiques les plus fréquemment utilisées pour un grand nombre de substances (méthodes de l'USEPA) et est disponible en Annexe D7.

## 12 Conclusion

La présente étude est réalisée dans le but de définir des recommandations en termes d'investigations pour une série de CEC (Contaminants of Emerging Concern) identifiés comme prioritaires, en vue d'une transmission de ces recommandations aux experts agréés pour la réalisation des études de sols.

Les catégories de substances considérées dans le cadre de ce projet ont été définies dans le cahier des charges rédigé par la Direction de l'Assainissement des sols (DAS), sont les suivantes :

- PCB ;
- Dioxines/furanes ;
- Plastifiants ;
- Retardateurs de flammes ;
- Bisphénols ;
- Chlorobenzènes ;
- Chloronaphtalènes (PCNs) ;
- Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP) ;
- Hexachlorobutadiène (HCBD).

Le présent rapport intervient dans le cadre de la première phase du projet visant à faire une synthèse de toutes les informations recueillies lors des trois premières étapes (tâches 1, 2 et 3). Ces étapes correspondent à

- La revue bibliographique des caractéristiques physico-chimiques et d'(éco) toxicité des substances retenues.
- L'identification des activités historiques et actuelles à risque.
- Identification et description des méthodes analytiques.

Ce rapport décrit la méthodologie suivie dans le cadre de cette étude ainsi que les conclusions principales obtenues pour chacune des familles. Les annexes reprennent l'ensemble des données collectées pour chacune des familles.

Il convient de préciser que ce rapport concerne des familles de substances considérées comme polluants émergents, actuellement au cœur des préoccupations des agences réglementaires nationales, européennes et internationales, ainsi que de la communauté scientifique. Dans ce contexte, le statut des informations disponibles est amené à évoluer rapidement, et certaines limites ou lacunes dans l'acquisition des données doivent être prises en compte. La quantité et la qualité des données disponibles pour une substance évoluant naturellement avec le temps.

Ceci est particulièrement le cas pour un grand nombre de substances reprises dans les quatre familles de retardateurs de flamme, bisphénols, chlorobenzènes, et phtalates et plastifiants, pour lesquelles l'ECHA a publié des ARNs (Assessment of Regulatory Needs) sur une période récente de 2021-2024. Les actions qui y sont liées (demandes de nouvelles études scientifiques, classifications harmonisées, processus de restrictions ou autorisation sur le marché européen) pourraient affecter certaines substances des différents groupes, ou éventuellement mener à des actions pour l'entièreté d'un groupe. Dans ce contexte, une veille réglementaire sur base annuelle pourrait permettre de suivre l'évolution du statut de ces substances et des données scientifiques publiées.

Les données recueillies dans le cadre de cette première phase seront utilisées pour identifier des composés prioritaires et de formuler des recommandations spécifiques concernant la gamme de substances étudiées. Ces étapes futures seront détaillées dans des livrables ultérieurs.

Les prochaines étapes de cette étude sont les suivantes :

- Identification des composés prioritaires ;
- Recommandations spécifiques et identifications des éléments contraignants ;
- Phase de consultation ;
- Présentation et formation.

## 13 Annexes

### Annexe A1 – Liste des paramètres recherchés

BROUILLON

## Annexe A2 – Présélection des substances

BROUILLON

## Annexe B1 – Base de données globale

BROUILLON

## Annexe B2 – Base de données VTR

BROUILLON

## **Annexe C1 – BRGM matrice**

### **Annexe C1.1 - Retardateurs de flamme**

BROUILLON

## Annexe C1.2 – Bisphénols

BROUILLON

## Annexe C1.3 – SCCP

BROUILLON

## **Annexe C2 – ZZS Netherlands**

**Annexe C2.1 - Rapport substances dangereuses par secteurs plans (SGS, 2020, Netherlands)**

BROUILLON

## Annexe C2.2 - Retardateurs de flamme

BROUILLON

## Annexe C2.3 – Bisphénols

BROUILLON

BROUILLON

## Annexe C2.5 - Plastifiants

BROUILLON

## Annexe C2.6 – SCCP

BROUILLON

## Annexe C3 – BIOBRO biomonitoring

BROUILLON

## **Annexe C4 – Bio monitoring BIODIEN**

### **Annexe C4.1 – Résultats pour les eaux de surface**

BROUILLON

## Annexe C4.2 – Résultats pour les eaux potabilisables

BROUILLON

## Annexe C4.3 - Résultats pour les eaux souterraines

BROUILLON

## Annexe C4.4 - Résultats pour les rejets de STEP

BROUILLON

## **Annexe C5 – Base de données (Bruxelles-Environnement)**

### **Annexe C5.1 – Eau de surface**

BROUILLON

## Annexe C5.2 – Sol et eau souterraine

BROUILLON

## **Annexe C6 – European Human BioMonitoring**

### **Annexe C6.1 – Retardateurs de flamme**

BROUILLON

## Annexe C6.2 – Bisphenols

BROUILLON

## Annexe C6.3 – Plastifiants

BROUILLON

## **Annexe C7 – Base de données (VMM - Vlaamse Milieumaatschappij)**

### **Annexe C7.1 – Biote**

BROUILLON

## Annexe C7.2 – Eau de surface

BROUILLON

## Annexe C8 – Biomonitoring Humain Wallon (BMH-WAL)

BROUILLON

# Annexe D1 – Certificat d'Accréditation

## Annexe D1.1 – Alwest B.V

BROUILLON

**Annexe D1.2 – Eurofins analytico B.V.**

BROUILLON

BROUILLON

BROUILLON

## Annexe D2 – Aperçu des analyses AI-West 2024 (NL)

BROUILLON

## Annexe D3 – Requête laboratoire (Servaco)

BROUILLON

## Annexe D4 – Requête laboratoire (Eurofins)

BROUILLON

## Annexe D5 – Requête laboratoire (SGS)

BROUILLON

## Annexe D6 – Requête laboratoire (Alwest)

BROUILLON

## Annexe D7 – Index des méthodes d'essai de l'EPA (États-Unis)

BROUILLON

## 14 Bibliographie

**Agence européenne des produits chimiques (ECHA).** (S.d.). Phtalates. Consulté en 2024-2025, à l'adresse <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/phthalates>.

**Agence européenne des produits chimiques.** (S.d.). Bisphénols. ECHA. <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/bisphenols>

**Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA).** (Novembre 2005). Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Évaluation de l'exposition de la population française. Rapport RCCP-Ra-DioxinesPCB.

**Bruxelles Environnement.** (Août 2011). 15. Dioxines et furanes. Département Planification Air, Climat et Énergie et Observatoire des Données de l'Environnement. Consulté en 2024-2025, à l'adresse [https://document.environnement.brussels/opac\\_css/elecfile/Air%2015](https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Air%2015).

**C. Belpaire, G. Goemans, J. de Boer, H. Van Hooste. Distribution of brominated flame retardants.** 2003.

**CIRE Rhône-Alpes – Préfecture de la région Rhône-Alpes.** (Janvier 2010). Fiche PCB-eau France. Consulté en 2024-2025, à l'adresse [fiche-PCB\\_janv2010.pdf](https://www.cire-rhone-alpes.fr/fiche-PCB-janv2010.pdf).

**Commission européenne.** (1999). Alcanes C10-C13, chloro (Paraffines chlorées à chaîne courte).

**Conseil de l'Union européenne.** (1996, 16 septembre). Directive 96/59/CE du Conseil concernant l'élimination des polychlorobiphényles et des polychloroterphényles (PCB/PCT). Journal officiel des Communautés européennes, L 243, 31–35. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31996L0059>

**ECHA.** Regulatory strategy for flame retardants. 2023.

**EFSA.** Retardateurs de flammes bromés. 2021

**European Plasticisers.** (Mai 2020). Les plastifiants. Consulté en 2024-2025.

**Gallotti, S., & Thomann, C.** (2005). Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Évaluation de l'exposition de la population française. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).

**HBM4EU.** (S.d.). Phtalates : ce que vous devez savoir. Consulté en 2024-2025, à l'adresse [https://www.swisstph.ch/fileadmin/user\\_upload/SwissTPH/Topics/Human\\_Biomonitoring/Phthalates-Factsheet-HBM4EU\\_FR.pdf](https://www.swisstph.ch/fileadmin/user_upload/SwissTPH/Topics/Human_Biomonitoring/Phthalates-Factsheet-HBM4EU_FR.pdf).

**IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.** (1999). Some Chemicals that Cause Tumours of the Kidney or Urinary Bladder in Rodents and Some Other Substances (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 73). International Agency for Research on Cancer (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK402061/>)

**INERIS.** (2005). Chloroalcanes en C10-13. [https://www.inrs.fr/cmrr/publigen\\_cmrr\\_v2.nsf/allDocRechercheVisu/8E336C9E3FDC43F0C12572FE002F2546?opendocument](https://www.inrs.fr/cmrr/publigen_cmrr_v2.nsf/allDocRechercheVisu/8E336C9E3FDC43F0C12572FE002F2546?opendocument)

**INERIS.** (2012). Les polychlorobiphényles (PCB). Document DRC-11-118962-11081A. <https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/1336-36-3%20--%20PCB%20--%20FTE.pdf>

**INERIS.** (2015). Bisphénol-F et S et autres. <https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/80-09-1%20--%20Bisph%20C3%A9nol-S%20--%20FTE.pdf>

**INERIS.** Bisphénol-A. Portail Substances Chimiques. Consulté en 2024. <https://substances.ineris.fr/substance/80-05-7>

**Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).** (2011, mars 21). 1-Chloronaphtalène (CAS 90-13-1). <https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/90-13-1%20--%201-chloronaphtal%C3%A8ne%20--%20NQE.pdf>

**Jans, Urs.** "Emerging Brominated Flame Retardants in Sediments and Soils: A Review." *Current Pollution Reports*, vol. 2, no. 4, 24 Sept. 2016, pp. 213–223, <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0041-5>.

**Katta, R., Sajwan, K., & Loganathan, B. G.** (2013). Aroclor mixtures: Pattern recognition in environmental and biological matrices. *Organohalogen Compounds*, 75, 476-479. <https://dioxin20xx.org/wp-content/uploads/pdfs/2013/200.pdf>

**Lemière, B., Seguin, J. J., Le Guern, C., Guyonnet, D., Baranger, Ph., Saada, A., Darmendrail, D., Conil, P., Bodéan, F., Fauconnier, D., Hubé, D., & Colombano, S.** (2008). Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes : Applications dans un contexte de gestion des impacts sur les eaux souterraines (Document du BRGM 300). Bureau de Recherches Géologiques et Minières. <https://ssp-infoterre.brgm.fr/sites/default/files/documents/2022-05/doc300comportementpolluants.pdf>

**B. Lemière, J. Seguin, C. Le Guern, D. Guyonnet, P. Baranger, D. Darmendrail, P. Conil.** *Guide Sur Le Comportement Des Polluants Dans Les Sols et Les Nappes*. 2001.

**Mackay, D., Shiu, W. Y., & Ma, K. C.** (1992). Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals (Vol. I-IV). Lewis Publishers.

**MIRA.** Achtergronddocument Verspreiding van gebromeerde vlamvertragers. 2007.

**MIRA.** Themabeschrijving Verspreiding van persistente organische pollutanten (POP's). 2013.

**Ministère fédéral de la Santé publique, de la Sécurité de la Chaîne alimentaire et de l'Environnement.** (2009). Plan national belge d'implémentation de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. [https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth\\_theme\\_file/19088563/Plan%20national%20belge%20d%27impl%C3%A9mentation%20Stockholm.pdf](https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19088563/Plan%20national%20belge%20d%27impl%C3%A9mentation%20Stockholm.pdf)

**National Center for Biotechnology Information.** (s.d.). Chlorobenzene. PubChem Compound Summary. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlorobenzene>

**Organisation mondiale de la Santé (OMS).** (29 novembre 2023). Dioxines et leurs effets sur la santé humaine. Consulté en 2024-2025, à l'adresse <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>.

**OVAM.** Diffuse bodemverontreiniging - inventarisatie van gegevensbronnen en voorstel van aanpak. 2021.

**Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).** (2021). Guidance on preparing inventories of polychlorinated naphthalenes (PCNs). Secrétariat des conventions de Bâle, de Rotterdam et de Stockholm. [https://nips.pops.int/Guidance\\_docs/Document\\_2\\_2\\_5.pdf](https://nips.pops.int/Guidance_docs/Document_2_2_5.pdf)

**Santraine, O., & Pruniaux, R.** (2023). Utilisations, réglementations, substitutions des phtalates. Centre technique des industries mécaniques (Cetim). Consulté en 2024-2025, à l'adresse <https://www.cetim.fr/mecatheque/Resultats-d-actions-collectives/utilisations-reglementations-substitutions-des-phtalates-version-francaise-et-anglaise>.

**Santé Canada.** (S.d.). Phtalates. Consulté le 25 février 2025, à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-et-substances-chimiques/phtalates.html>.

**Service Public de Wallonie – Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (SPW-ARNE).** (Novembre 2019). Procédure pour la Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence et la Prise en Compte du Caractère Cancérogène d'un Polluant.

**SPAQuE & ISSeP.** (2019, novembre). Procédure pour la sélection des valeurs toxicologiques de référence et la prise en compte du caractère cancérogène d'un polluant.

**SPAQuE & ISSeP.** (2021, September). Development of Screening Levels in soil and groundwater in Wallonia: Technical document for the selection of appropriate physical-chemical properties and toxicity values of chemical compounds.

**Stockholm Convention.** (2021). Guidance on alternatives to short-chain chlorinated paraffins (SCCPs). Consulté sur <http://www.pops.int>

**U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (2003, novembre). Table of PCB Species by Congener Number.

**U.S. Environmental Protection Agency.** (2016, septembre). Hexachlorobutadiene. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/hexachlorobutadeine.pdf>

**Van de Plassche, E., & Schwegler, A.** (2002, août 6). Preliminary risk profile hexachlorobutadiene: Polychlorinated naphthalenes (L0002.A0/R0010/EVDP/TL). Ministry of VROM/DGM. Royal Haskoning.

**VITO.** Voorstel voor bodemsaneringsnormen voor Decabroomdifenylether (BDE-209). 2023.

**Wallonie (SPAQUE, ISSEP).** (2023). Annexe 1 : Protocole pour la démarche d'élaboration des Valeurs Limites (VLH, VLN et VLnappe) des Polluants Non Normés (PNN). Version 3.3 – Utilisation du modèle S-RISK®. <https://sol.environnement.wallonie.be/files/Document/CWBP/PNN/PNN%20Version%207/annexe%201.pdf>

# Colophon

RAPPORT D'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE PROSPECTIVE – DÉLIVRABLE N°1 (DRAFT)  
30209545

**CLIENT**

DIRECTION DE L'ASSAINISSEMENT DES SOLS (DAS)

**AUTEUR**

Louis Druon, Laura Lefèvre, Antoine Zanutel et Karen Van Geert

**DATE**

18/03/2025

BROUILLON

# À propos d'Arcadis

Arcadis est le leader international en conception et conseil de l'environnement naturel et construit. Notre connaissance approfondie du marché, ainsi que nos services de conception, de conseil, d'ingénierie, de management de projets et de gestion, nous permettent de travailler en partenariat avec nos clients afin de leur offrir des résultats exceptionnels et durables. Nous sommes 27 000 collaborateurs dans plus de 70 pays et générons 3,3 milliards d'euros de chiffre d'affaires. Nous soutenons le programme ONU-Habitat par nos connaissances et notre expertise afin d'améliorer la qualité de vie dans les villes en croissance importante, partout sur la planète.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

## Arcadis Belgium sa

Rue Marquis 1  
1000 Bruxelles  
Belgique

T. 02 505 75 00

**Arcadis.** Improving quality of life

Suivez-nous sur :



[arcadis-belgië-belgique](https://www.linkedin.com/company/arcadis-belgië-belgique)



[ArcadisBelgie](https://twitter.com/ArcadisBelgie)



[arcadisbelgium](https://www.facebook.com/arcadisbelgium)



[arcadisbelgium](https://www.instagram.com/arcadisbelgium)