

# Polluants émergents et sites pollués en Suisse

---

## Etat des lieux et recommandations



Image par OpenClipart-Vectors de Pixabay ecology-158945\_1280.png

RAPPORT D'EXPERTS RÉALISÉ SUR MANDAT DE L'OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT  
(OFEV)

Rapport final

Février 2022



7 chemin de Mont-Riant  
CH-2000 Neuchâtel  
+41 (0)79 671 96 22  
[www.eode.ch](http://www.eode.ch)

OFEV\_PoIEm\_Avis\_Rapport\_eOde\_Févr2022.docx

**Rapport final**



## **Mentions légales**

### **Mandant**

Office fédéral de l'environnement (OFEV), division Sols et biotechnologie, CH-3003 Berne

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### **Mandataire**

eOde Sàrl, 7 chemin de Mont-Riant, CH-2000 Neuchâtel. eOde est un bureau de conseils spécialiste des sites et sols pollués et du traitement statistique et géostatistique de données environnementales.

### **Auteurs**

Hélène Demougeot-Renard, Sonia Tarnawski, eOde.

### **Accompagnement OFEV**

Christiane Wermeille, Rolf Kettler.

### **Remarques**

Le mandataire porte seul la responsabilité du contenu.



## Table des matières

---

1.	Introduction .....	9
1.1.	Contexte et objectifs .....	9
1.2.	Limitation du cadre de l'étude .....	10
1.3.	Démarche mise en œuvre.....	12
2.	Caractéristiques des activités industrielles passées en Suisse.....	13
2.1.	Statistiques sur la base des données cadastrales fédérales .....	13
2.2.	Substances recensées dans l'aide à l'exécution sur l'établissement des cadastres 14	
2.2.1.	Substances répertoriées dans l'OSites .....	14
2.2.2.	Substances non répertoriées dans l'OSites .....	15
3.	Substances non répertoriées dans l'OSites déjà retrouvées en Suisse .....	18
3.1.	Substances non répertoriées déjà retrouvées dans les sites pollués.....	18
3.2.	Substances non répertoriées déjà retrouvées dans les eaux souterraines.....	19
4.	Polluants émergents non répertoriés dans l'OSites faisant l'objet d'un intérêt actuel au niveau international .....	21
4.1.	Sources documentaires disponibles.....	21
4.2.	Sources documentaires et polluants émergents retenus .....	24
5.	Consultation des cantons sur une liste restreinte de substances.....	26
5.1.	Enquête auprès des cantons.....	26
5.2.	Réponses des cantons.....	26
6.	Synthèse des résultats .....	29
7.	Synthèse finale et recommandations.....	32
	Bibliographie .....	35
	Listes des figures .....	36
	Liste des tableaux .....	36

## Annexes

---

Annexe informatique 1	Substances de l'aide à l'exécution pour l'élaboration du cadastre non répertoriées dans l'OSites
Annexe informatique 2	Questionnaire d'enquête auprès des cantons

## Remerciements

---

Nous remercions les responsables cantonaux des sites pollués pour leur participation à l'enquête sur les polluants émergents.



## Abréviations

---

CAP-NSO	Composés aromatiques polycycliques – hétérocycliques et/ou oxydés (polaires)
CCL5	Contaminant candidate list (US EPA)
DCA	Dichloroéthane
DFI	Département fédéral de l'intérieur
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HBCD	Hexabromocyclododécane
IHE	Insensitive high explosives
LPE	Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement, RS 814.01
LEaux	Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux, RS 814.20
OEaux	Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux, RS 814.201
OFEV	Office fédéral de l'environnement (anciennement OFEFP et OFEG)
OLED	Ordonnance du 4 décembre 2015 sur la limitation et l'élimination des déchets, RS 814.600
OPBD	Ordonnance du DFI du 16 décembre 2016 sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public, RS 817.022.11
OSites	Ordonnance du 26 août 1998 sur les sites contaminés, RS 814.680
OSol	Ordonnance du 1 <sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols, RS 814.12
PBDE	Polybromodiphényléthers
PCDD-F	Polychlorodibenzo-p-dioxines et polychlorodibenzofuranes
PFAS	Substances per- et polyfluoroalkylées
PFBA	Acide pentafluorobenzoïque
PFBS	Acide perfluorobutanesulfonique
PFOA	Acide perfluorooctanoïque
PFOS	Acide perfluorooctanesulfonique et ses sels
PGE	Platinum group elements, groupes du platine
PMT	Persistent, mobile and toxic substances in the environment (D)
POP	Polluants organiques persistants
SVHC	Substances of very high concern (UE)
TBP	Phosphate de tributyle
TCA	1,1,1,-trichloroéthane
TCEP	Phosphate de tris(2-chloroéthyle)
TCP	Phosphate de tricrésyle
US EPA	Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis



## 1. Introduction

### 1.1. Contexte et objectifs

L'évaluation des sites pollués en Suisse et la détermination de leurs besoins de surveillance et assainissement portent sur des listes de substances dont la production, l'utilisation, le stockage ou le rejet par les activités économiques passées étaient fréquents. Elles ont été identifiées comme dangereuses pour l'homme et son environnement, du fait de leur toxicité et de leur capacité de dissémination ou d'accumulation dans l'atmosphère, l'eau et le sol. Ces substances étaient également celles qui pouvaient être mesurées par les techniques analytiques disponibles au moment de l'établissement de la réglementation sur les sites pollués en 1998 (OSites). Ce sont ainsi 68 substances organiques et inorganiques dans les eaux, 26 dans l'air et 18 dans le sol qui ont été répertoriées et font l'objet d'analyses chimiques dans les investigations de sites pollués, pour comparaison à des valeurs de référence listées dans les Annexes 1 à 3 de l'OSites. D'autres substances qui ne sont pas répertoriées dans ces listes sont également recherchées au cas par cas - par application des al.1 de ces Annexes - et ont été rassemblées par l'OFEV dans une liste complémentaire (cf. paragraphe 3.1). Ces listes de composés sont très proches de celles établies dans les autres pays industrialisés, en Europe et sur le continent nord-américain.

Depuis quelques années, des substances qualifiées de « polluants émergents » font l'objet d'un intérêt croissant au niveau international. Le nombre de publications scientifiques consacrées aux polluants émergents ou aux micropolluants en témoigne, puisqu'il a été multiplié par 10 de 2006 à 2017, passant de 100 à 1000 (Oberger et Leopold 2019). La notion de polluants émergents regroupe une grande variété de composés, chimiques ou biologiques, issus de l'activité industrielle, agricole, ou urbaine, qui ne sont pas nécessairement « nouveaux », dans le sens où leur présence dans l'environnement pouvait déjà être connue il y a quelques années, mais qui suscitent un nouvel intérêt (« substances of emerging concern »), en raison d'une prise de conscience de leur impact possible sur l'homme et son environnement. Ce sont des substances non réglementées que l'on est désormais capable de détecter dans les eaux, l'air et le sol, dont le comportement dans l'environnement et le danger qu'ils représentent sont suspects, mais sans être encore bien connus (Sauvé & Desrosiers, 2014).

Ces travaux suscitent des interrogations sur les listes de substances qui figurent dans les Annexes de l'OSites : à la lumière de ces nouvelles connaissances, ces listes couvrent-elles bien l'essentiel des substances susceptibles d'avoir un effet nuisible ou incommodant sur l'homme et son environnement ? Dans chacune des familles, seul un petit nombre de substances sont répertoriées (p.ex. 13 HAP recommandés par US EPA pour l'évaluation des atteintes portées aux eaux). Ces substances sont-elles des marqueurs d'autres substances non listées, qui peuvent également avoir un effet toxique ou écotoxique ? Si ce n'est pas le cas, doit-on rajouter des substances aux listes de l'OSites, ou bien recommander d'analyser certaines substances selon les branches d'activité, ou émettre d'autres recommandations ? Si c'est le cas, quelle conduite tenir en cas de dépassement des exigences légales, étant donné que d'autres substances toxiques sont probablement présentes ?

Pour y répondre, certains cantons ont d'ores et déjà mené des études, et la section Sites contaminés de l'OFEV coordonne actuellement des expertises et des investigations sur des familles ciblées de substances faisant l'objet de préoccupations au niveau international, telles que les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) (ARCADIS, 2021; Wietor, 2020) et les composés aromatiques polycycliques et hétérocycliques (CAP-NSO) (eOde, 2017).

Pour compléter ces travaux, la section Sites contaminés de l'OFEV a confié à eOde une étude plus générale visant à apprécier si d'autres substances mériteraient d'être prises en considération dans les évaluations de sites pollués en Suisse, compte-tenu du passé industriel du pays et des connaissances actuelles sur les polluants émergents. Initiée en Juillet 2020 pour une durée de 17 mois, l'étude se base sur l'analyse de 4 sources d'information pour émettre un avis d'expert et des recommandations à destination des professionnels de l'évaluation et la gestion des sites pollués :

- 1) Un inventaire des substances polluantes qui avaient été associées au passé artisanal et industriel suisse par l'OFEV au moment de l'établissement des cadastres (OFEFP (OFEV, éd.), 2001), en plus de celles apparaissant dans les listes de l'OSites, accompagné d'un relevé des branches d'activité ayant donné lieu au plus grand nombre de sites contaminés nécessitant une surveillance ou un assainissement à ce jour,
- 2) Un inventaire de composés non listés dans les Annexes de l'OSites, mais qui ont néanmoins été retrouvés dans des sites pollués de plusieurs cantons et pour lesquels une valeur de concentration a été établie et validée par l'OFEV, ou bien dans des points de surveillance de la qualité des eaux souterraines du pays, sur la base de documents fédéraux,
- 3) Une sélection de polluants émergents faisant l'objet d'études et de recherches actuelles au niveau international, qui pourraient également avoir été émis par les activités industrielles en Suisse,
- 4) Une enquête auprès de quelques cantons dont les sites pollués sont représentatifs du tissu industriel historique suisse, renseignant sur les substances non répertoriées dans les listes de l'OSites, mais qui ont néanmoins été retrouvées dans certains sites ou leur environnement.

Le présent rapport restitue les résultats de ce travail en 5 parties. Les caractéristiques des activités économiques passées en Suisse sont synthétisées au chapitre 2 et un bilan des polluants non répertoriés dans l'OSites mais déjà retrouvés en Suisse ou bien faisant l'objet d'un intérêt actuel au niveau international est établi aux chapitres 3 et 4. Sur cette base, une liste restreinte de polluants émergents d'intérêt est confrontée aux retours d'expérience de représentants cantonaux en charge de la gestion des sites pollués au chapitre 5. Les résultats de ces recherches sont synthétisés, pour en dégager des recommandations aux chapitres 6 et 7 de ce rapport.

## 1.2. Limitation du cadre de l'étude

L'une des principales difficultés rencontrées dans la réalisation de l'étude tient au très grand nombre de sources documentaires et de composés recouvrant la notion de « polluants émergents ». Ce terme désigne en effet aussi bien des composés produits par de nouvelles technologies, que ceux issus d'un passé plus ancien ; des composés chimiques organiques ou inorganiques, que des microorganismes ou des particules de matière (p.ex. microplastiques) ; des rejets issus de l'activité industrielle, agricole, ou bien domestique et urbaine. A titre d'illustration, le nombre de publications listées dans le moteur de recherche google scholar par les mots clés « emerging pollutants » pour la seule année 2021, en ne sélectionnant que les articles de revue, était de 7990 à la date du 24 novembre 2021.

En accord avec l'OFEV, nous avons donc pris le parti de limiter notre domaine de recherche, d'une part en définissant précisément le sujet de notre étude, d'autre part en opérant une sélection raisonnée mais forcément subjective de sources d'information.

Nos recherches se sont donc concentrées sur des substances qui pourraient provenir des activités industrielles historiques les plus représentées en Suisse, en limitant notre périmètre d'étude comme suit :

- Seules les substances qui peuvent avoir été émises par d'anciennes activités artisanales, industrielles ou militaires (stands de tir), ou bien encore de lieux d'accident, sont prises en considération. Les polluants retrouvés dans les anciennes décharges sont généralement liés aux activités industrielles locales et n'ont donc pas été recherchés systématiquement,
- Parmi les activités industrielles et artisanales, seules sont considérées celles qui sont représentées en nombre significatif dans de nombreux cantons. Sont exclues les substances émises par des activités économiques isolées retrouvées uniquement dans quelques cantons, telles que les industries chimiques de grande taille marquant les cantons de Bâle et du Valais,
- Les substances sont celles qui ont pu être produites, utilisées, stockées ou rejetées, par des entreprises dont l'activité a démarré avant 1985. On considère en effet que les entreprises dont

l'exploitation a commencé après 1985 ne sont pas concernées par une inscription au cadastre<sup>1</sup>, en raison de l'introduction à partir de cette date de prescriptions environnementales contraignantes par la loi sur la protection de l'environnement (LPE), la loi sur la protection des eaux (LEaux) et les ordonnances correspondantes. Sont donc exclues du périmètre de l'étude les substances dont la production et l'utilisation ont démarré après 1985,

- Les substances utilisées dans l'agriculture ne sont intégrées à l'étude que lorsqu'elles sont susceptibles d'être apportées par des activités industrielles (cas p.ex. d'insecticides utilisés dans l'industrie du bois),
- L'accent est mis sur les substances pouvant affecter la qualité des eaux souterraines, qui constituent le bien environnemental à protéger prioritaire de l'OSites.

Les catégories suivantes de polluants émergents se retrouvent ainsi généralement exclues du cadre de l'étude :

- Les résidus de produits pharmaceutiques administrés aux hommes et aux animaux, tels que les antibiotiques, contraceptifs ou antidiabétiques,
- Les produits de soins personnels, les cosmétiques et produits d'entretien,
- Les microplastiques,
- Les résidus de pesticides, incluant les herbicides, insecticides, fongicides ou toute autre substance, lorsqu'ils sont utilisés exclusivement dans l'agriculture pour lutter contre des organismes nuisant à la croissance des plantes,
- Les composés perfluorés PFAS et les composés aromatiques hétérocycliques CAP-NSO dont la prise en compte dans la réglementation des sites pollués fait l'objet d'études spécifiques conduites par l'OFEV.

En dépit des limitations apportées à l'étude, le nombre de publications sur le sujet et le nombre de substances étaient encore trop grands pour être appréhendés dans leur globalité. Nous avons donc fait le choix d'opérer une sélection raisonnée de sources documentaires et de polluants émergents. Le contenu de ce rapport reflète en ce sens notre expérience du domaine des sites et sols pollués sans prétendre être exhaustif sur le sujet. En particulier, il ne peut être exclu « l'oubli » de substances qui auraient échappé à notre vigilance, malgré tout le soin apporté à notre travail.

---

<sup>1</sup> Sauf s'il existe des indices de pollution et sauf pour quelques rares branches d'activité (par ex. galvanoplastie).

### 1.3. Démarche mise en œuvre

L'étude a été menée par étapes selon une démarche schématisée à la Figure 1 ci-dessous. Dans un premier temps, une sélection de sources documentaires a été analysée afin de :

- Résumer les caractéristiques principales des sites pollués recensés au cadastre fédéral des sites pollués (chapitre 2 du rapport),
- Identifier les substances qui ne sont pas répertoriées dans les Annexes de l'OSites, mais qui ont néanmoins déjà été retrouvées dans les sites pollués ou dans le cadre de la surveillance générale des eaux souterraines en Suisse (chapitre 3),
- Identifier les polluants émergents qui ne sont pas répertoriés dans les listes de l'OSites et qui font l'objet de nombreux travaux de recherche actuels au niveau international (chapitre 4).

Ces informations nous ont permis de dresser une liste restreinte de polluants émergents d'intérêt prioritaire pour les évaluations de sites pollués en Suisse. Cette liste a été soumise à l'avis et au retour d'expérience d'un panel de représentants des cantons – autorités d'exécution de l'OSites (chapitre 5).

L'analyse et l'interprétation de l'ensemble de ces résultats (chapitre 6) nous ont conduit finalement à émettre un avis sur les substances qu'il serait utile d'intégrer aux programmes d'investigation des sites pollués, ainsi qu'à formuler des recommandations sur leurs conditions d'intégration et la conduite à tenir dans le futur vis-à-vis de ces polluants d'intérêt émergent (chapitre 7).

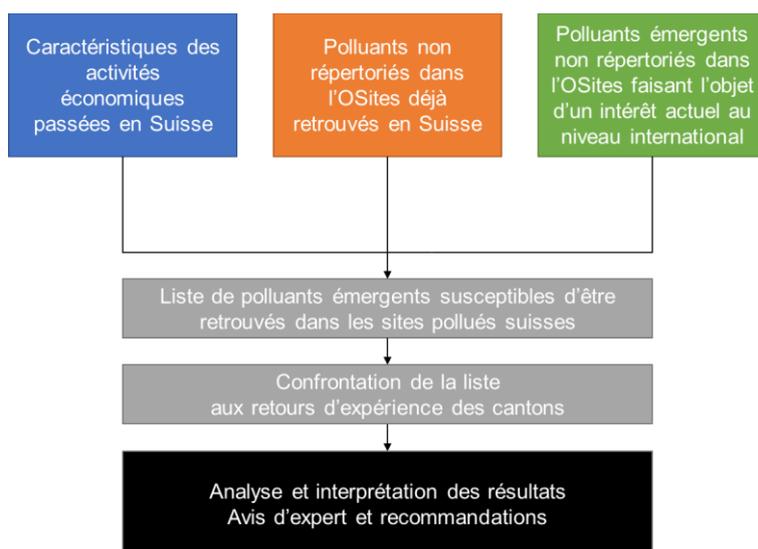


Figure 1 Représentation schématisée de la démarche mise en œuvre pour identifier des polluants émergents qui mériteraient d'être pris en considération dans les investigations de sites pollués.

On notera que les sélections opérées portent indifféremment sur des substances, ou des familles ou groupes de substances. Il est en effet très difficile suivant la source documentaire consultée d'obtenir systématiquement l'une ou l'autre de ces informations. De plus, dans certains cas (p.ex. composés perfluorés), il est préférable de n'indiquer que la famille, car le nombre de substances individuelles est très grand, et toutes sont potentiellement dangereuses. Dans d'autres cas (p.ex. 1,4-dioxane), une seule substance apparaît préoccupante pour l'homme et son environnement.

Les noms des substances sont fournis la plupart du temps en français, à l'exception des situations où une traduction de la version anglaise n'a pas été trouvée.

## 2. Caractéristiques des activités industrielles passées en Suisse

Un tour d'horizon du contexte industriel historique suisse a été mené avec l'objectif de collecter des informations sur les substances qui pourraient se retrouver dans les sites pollués, mais qui n'ont pas été prises en compte au moment de l'établissement de l'OSites, en se basant sur :

- L'état actuel des cadastres et du classement des sites par activités,
- L'inventaire très détaillé qui avait été mené par l'OFEV sur les activités passées en Suisse et les substances possibles, au moment de l'établissement des cadastres ((OFEFP (OFEV, éd.), 2001).

### 2.1. Statistiques sur la base des données cadastrales fédérales

Sur la base des données issues du cadastre fédéral des sites pollués dans son état de 2018, les branches d'activité ayant donné lieu au plus grand nombre de sites pollués recensés et au plus grand nombre de sites contaminés nécessitant une surveillance ou un assainissement ont été recherchées. Ces dénombrements sont destinés à déterminer les branches qui doivent faire l'objet d'une attention particulière en raison d'un impact plus probable des sites sur les domaines de l'environnement considérés par l'OSites (eaux, gaz du sol, sol). Les sites ont été évalués par les autorités cantonales sur la base des listes de substances recensées dans les Annexes de l'OSites, mais également en tenant compte d'autres substances pour lesquelles des valeurs de référence ont été demandées spécifiquement à l'OFEV par les cantons (cf. paragraphe 3.1). Ces chiffres ne tiennent pas compte des sites déjà assainis supprimés du cadastre fédéral ou dont le nouveau statut OSites serait autre que nécessitant une surveillance.

Les branches d'activité ayant donné lieu à plus de 100 sites pollués recensés dans le cadastre sont au nombre de 11 (Tableau 1). Les branches ayant conduit au plus grand nombre de sites contaminés nécessitant une surveillance ou un assainissement – ayant donc un impact avéré sur les eaux, l'air interstitiel du sol ou le sol - sont, par ordre décroissant :

- La production et la transformation de métaux (228 sites contaminés),
- La fabrication de produits chimiques (66 sites),
- Les blanchisseries et nettoyages à sec (65 sites),
- La construction de machines et véhicules (49 sites),
- La réparation de véhicules ou machines (19 sites),
- Le commerce de détail de combustibles et carburants (28 sites),
- Le commerce de gros de combustibles et carburants (19 sites),
- Le commerce de gros de produits chimiques (14 sites),
- L'activité de traitement du bois, de fabrication d'articles en bois et meubles (15 sites),
- L'industrie de la pierre, du sable, du gravier, de l'argile (9 sites),
- Le bâtiment et génie civil (5 sites).

Les branches d'activité peuvent également être classées en tenant compte du nombre total de sites pollués inscrits au cadastre, quel que soit le statut OSites qui leur a été accordé, car leur terrain comporte potentiellement des substances qui nécessiteront une élimination des matériaux solides vers une filière conforme à l'Ordonnance sur les déchets (OLED), ce qui constitue une autre forme d'impact possible sur l'environnement et de coûts engendrés pour les dépolluer. Un indice permettant de classer les branches en fonction du nombre de sites pollués et du pourcentage de sites à surveiller ou assainir a été construit, prenant une valeur d'autant plus élevée que nombres et pourcentages sont élevés sur une échelle de 1 à 4 (Tableau 1). Elle aboutit à un classement légèrement différent des 11 branches que celui obtenu à partir du seul nombre de sites pollués :

- La production et la transformation de métaux (indice : 4),
- La fabrication de produits chimiques (indice : 4),
- Les blanchisseries et nettoyages à sec (indice : 3),

- La construction de machines et véhicules (indice : 3),
- Le commerce de gros de produits chimiques (indice : 3),
- La réparation de véhicules ou machines (indice : 2),
- Le commerce de détail de combustibles et carburants (indice : 2),
- L'activité de traitement du bois, de fabrication d'articles en bois et meubles (indice : 2),
- Le commerce de gros de combustibles et carburants (indice : 2),
- L'industrie de la pierre, du sable, du gravier, de l'argile (indice : 1),
- Le bâtiment et génie civil (indice : 1),
- Le transport routier de marchandises (indice : 1).

On notera que ces classements des branches d'activité ne reflètent que partiellement l'impact des sites sur l'environnement, puisqu'ils ne tiennent pas compte des volumes d'eau, de sol et de sous-sol atteints par la pollution, ni de l'ampleur des mesures de surveillance ou de dépollution requises.

**Tableau 1** Branches d'activité ayant donné lieu au plus grand nombre de sites pollués inscrits au cadastre en 2018 et aux plus grands pourcentages de sites contaminés à surveiller ou assainir.

Branche d'activité NGAÉ	Code NGAÉ	Nb sites aux cadastres	% (nb) sites avec assainissement ou surveillance	Indice de classement
Traitement du bois, fabrication d'articles en bois, meubles	26	426	4 (15)	2
Produits chimiques	31	391	17 (66)	4
Industrie de la pierre, du sable, du gravier, de l'argile	33	281	3 (9)	1
Production et transformation de métaux	34	2052	11 (228)	4
Construction de machines et de véhicules	35	697	7 (49)	3
Bâtiment et génie civil	41	269	2 (5)	1
Commerce de gros de produits chimiques	518	118	12 (14)	3
Commerce de gros de combustibles et carburants	519	248	8 (19)	2
Commerce de détail de combustibles, carburants	557	2382	1 (28)	2
Réparation de véhicules ou machines	582	2532	1 (19)	2
Transport routier de marchandises	622	121	0 (0)	1
Blanchisserie, nettoyage à sec	761	635	10 (65)	3

## 2.2. Substances recensées dans l'aide à l'exécution sur l'établissement des cadastres

### 2.2.1. Substances répertoriées dans l'OSites

Les substances pour lesquelles des valeurs de concentration sont précisées dans les Annexes 1 à 3 de l'OSites sont celles couramment retrouvées dans les sites pollués recensés dans le cadastre. Elles sont le reflet des activités artisanales et industrielles passées les plus fréquentes de Suisse.

Ce sont au total 68 substances ou indices globalisants de familles de substances répertoriées dans l'Annexe 1 pour évaluer les atteintes portées aux eaux par les sites pollués, 26 substances ou indices dans l'Annexe 2 pour évaluer l'effet porté à l'air interstitiel du sol, et 7 à 18 substances ou indices globalisants (selon l'usage) pour apprécier l'impact des sites pollués sur le sol à usage agricole ou horticole, ou bien le sol dans les jardins privés et familiaux, ou bien encore dans les places de jeux où des enfants jouent régulièrement (Tableau 2).

Les autorités d'exécution de l'OSites ont également la possibilité de fixer des valeurs de concentration au cas par cas, lorsqu'aucune valeur de concentration n'apparaît pour la substance d'intérêt. Cette possibilité est donnée pour les eaux et les sols uniquement. La démarche à suivre pour déterminer des valeurs de concentration non recensées dans l'OSites est précisée dans l'aide à l'exécution (OFEV (éd.), 2013).

**Tableau 2** Groupes et nombre de substances avec valeurs de concentration de référence dans les Annexes 1 à 3 de l'OSites.

Annexe OSites	Milieu évalué	Groupes de substances	Nombre de substances ou indicateurs globalisants	Nombre total de substances
Annexe 1	Eaux	Substances inorganiques (Eléments traces)	12	68
		Substances inorganiques (Eléments majeurs)	4	
		Hydrocarbures aliphatiques et additifs (MTBE)	2	
		Amines	2	
		Hydrocarbures halogénés	20	
		Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX)	4	
		Hydrocarbures aromatiques nitrés	4	
		Phénols	7	
		Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	13	
Annexe 2	Air interstitiel	Substances inorganiques	3	26
		Hydrocarbures aliphatiques (Essences et méthane)	3	
		Hydrocarbures halogénés	14	
		Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX)	4	
		Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	2	
Annexe 3	Sol	Substances inorganiques (Eléments traces)	4 à 10	7 à 18 selon usage du sol
		Hydrocarbures aliphatiques	0 à 2	
		Hydrocarbures halogénés (PCB)	1 à 2	
		Hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX)	0 à 2	
		Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	2	

### 2.2.2. Substances non répertoriées dans l'OSites

D'autres substances que celles mentionnées dans les Annexes de l'OSites avaient été identifiées comme polluants possibles à la date de parution de l'aide à l'exécution pour l'établissement des cadastres des sites pollués (OFEFP (OFEV, éd.), 2001). Dans ce document, des listes de substances, produits (mélanges de substances) ou groupes de substances ont été détaillées pour 19 branches d'activité jugées représentatives du passé industriel helvétique.

Ces listes ont été analysées de manière approfondie. Il apparaît ainsi que **201 substances**<sup>2</sup> sont mentionnées dans l'aide à l'exécution. Parmi celles-ci, **162** ne se réfèrent à aucun des composés des Annexes 1 à 3 de l'OSites, soit **80%** des substances mentionnées (Annexe informatique 1). Les branches d'activité pour lesquelles les plus grands nombres et pourcentages de substances non recensées dans l'OSites ont été calculés sont **l'industrie chimique, l'industrie du bois et les activités de génie civil et construction** (Tableau 3).

Parmi l'ensemble des substances non recensées dans l'OSites inventoriées dans l'aide à l'exécution, nous avons identifié celles qu'il nous semble important de reconsidérer, compte-tenu de la fréquence à laquelle elles sont mentionnées dans le document, de leur potentiel de mobilisation dans les eaux et de leur toxicité avérée ou fortement suspectée. Une liste d'**une vingtaine de substances préoccupantes** a pu ainsi être dressée, et est utilisée dans la suite de l'étude. Elle apparaît dans la troisième colonne du Tableau 4 :

- Certaines substances font partie des groupes de substances mentionnées dans l'OSites, tels que les amines, les halogénés, les aromatiques homocycliques, les hydrocarbures, et les phénols (Tableau 2). D'autres font partie de groupes non répertoriés dans l'OSites, tels que les aldéhydes, esters et diisocyanates (liés à la production de résines),

<sup>2</sup> Certain(e)s substances ou groupes de substances sont cité(e)s plusieurs fois sous des dénominations différentes. La redondance de citation n'a pas été exclue dans le décompte, par conséquent le nombre total peut être légèrement surestimé.

**Tableau 3** Nombre de substances ou mélange de substances référencées par branche d'activité dans l'aide à l'exécution pour l'établissement du cadastre et parmi celles-ci, nombre de substances non mentionnées dans l'OSites. Branches classées par nombre de substances non OSites décroissant.

Branche d'activité	Code NGAE	Nb de substances référencées	Nb de substances non OSites	% de substances non OSites
Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc	31 (sans 3140), 32	68	34	50
Industrie du bois	26	49	33	49
Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction	333 (sans 3331), 334, 411-413	59	29	43
Production d'articles en cuir et de chaussures	29	45	23	34
Production de textiles, vêtements et lavage	24, 25	43	23	34
Papeteries et cartonnerie	27	27	19	28
Produits en céramique, fabrication en verre	335, 336	43	18	26
Atelier de composition et de reproduction graphique, Imprimerie, Reliure	281-283	41	13	19
Galvanoplastie	3443	41	12	18
Production et transformation de métaux non ferreux, fonderie	342, 343	28	11	16
Construction de fourneaux en catelles et cheminées	4226	20	5	7
Aciérie, atelier de laminage	341	16	3	4
Horlogerie, mécanique de précision	37, 3514	16	3	4
Branche automobile	5241-5245, 5591-5594, 582, 7411-7413, 7634	12	2	3
Couvreurs	4228	8	1	1
Extraction de roches, sols, cimenteries	331, 332, 3331	5	1	1
Blanchisserie, nettoyage à sec	761	6	0	0
Construction de machines et véhicules, machines et tracteurs agricoles, machines pour la construction	354, 355, 3511, 3519	10	0	0
Construction de machines pour la production, construction de machines de bureau et des installations informatiques	3512, 3513, 3515-3518, 3521-3526, 353	7	0	0

- Des substances utilisées comme **colorants** sont mises en lumière dans cette liste, d'origine inorganique, comme les oxydes de vanadium, d'uranium ou de néodyme, ou organique, comme les azoïques aromatiques<sup>3</sup>. Les premiers sont associés à l'industrie chimique, la production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc, et à la fabrication de produits en céramique et en verre. Les seconds sont reliés à l'industrie du bois et à la production d'articles en cuir ou de matériaux de construction.
- Les autres substances organiques retenues dans la liste – composés **halogénés**, **primaires de résines** (formaldéhyde, diisocyanate, mélamine, etc.), **hydrocarbures aromatiques** et **hétérocycliques** et **phénols** - sont mentionnées de manière prépondérante dans les branches d'activité de l'**industrie chimique**, la **production de matières synthétiques** et d'articles en caoutchouc et de l'**industrie du bois**. Les filières de production de **céramique**, de **cuir** et de **matériaux de construction** sont également concernées et dans une mesure moindre le **travail des métaux** et la **galvanoplastie**. La plupart de ces activités font partie des branches dans lesquelles un grand nombre de sites pollués et un grand nombre de sites à surveiller ou assainir ont été inventoriés dans le cadastre (cf. paragraphe 2.1).

<sup>3</sup> Les **colorants azoïques** comportent un groupe azo : N=N reliant deux noyaux benzéniques.

**Tableau 4** Liste des substances mentionnées dans l'aide à l'exécution pour l'établissement du cadastre (OFEFP (OFEV, éd.), 2001) mais non recensées dans les Annexes de l'OSites - retenues pour leur fréquence de citation, leur potentiel de mobilisation dans les eaux et leur toxicité.

Groupe de substances		Nb de substances dans le groupe (nb de citations)	Composés à retenir	Branches d'activité concernées selon l'aide à l'exécution
INORGANIKES	<i>Métaux de transition</i>	9 (11)	Colorants (Oxydes de Vanadium)	Produits en céramique, fabrication en verre
	<i>Métaux alcalins et alcalino-terreux - Radiocatifs</i>	5 (5)	Baryum, Strontium, Césium	Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc
	<i>Éléments radioactifs - Actinides</i>	4 (4)	Colorants (Oxydes d'Uranium), Thorium	Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Produits en céramique, fabrication en verre
	<i>Métaux pauvres - Métaux de transition</i>	3 (3)	-	
	<i>Métalloïdes</i>	2 (2)	Borate	Production de textiles, vêtements et lavage - Production et transformation de métaux non ferreux, fonderie
	<i>Lanthanides</i>	1 (1)	-	
	<i>Terres rares</i>	1 (1)	Colorants (Oxydes de Neodyme)	Produits en céramique, fabrication en verre
ORGANIKES	<i>Composés halogénés</i>	14 (27)	(1) Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), Lindane/ Hexachlorocyclohexane g (HCH), (2) Furanes, (3) Fluorotensides (PFAS)	(1) Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Industrie du bois - Production de textiles, vêtements et lavage - Produits en céramique, fabrication en verre - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction (2) Acierie, atelier de laminage - Production et transformation de métaux non ferreux, fonderie (3) Galvanoplastie
	<i>Composés aromatiques homopolycycliques (Hydrocarbures aromatiques)</i>	14 (20)	(1) Styrène, (2) Phtalates	(1) Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Industrie du bois (2) Atelier de composition et de reproduction graphique, Imprimerie, Reliure - Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Industrie du bois - Production d'articles en cuir et de chaussures - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction
	<i>Aldéhydes (résines)</i>	12 (25)	Formaldéhyde/méthanal	Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Industrie du bois - Papeteries et cartonnerie - Production d'articles en cuir et de chaussures - Produits en céramique, fabrication en verre - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction - Production de textiles, vêtements et lavage
	<i>Solvants organiques</i>	11 (19)	-	
	<i>Amines, amides, ammonium</i>	11 (12)	1,3,5-triazine-2,4,6-triamine (mélamine)	Production de textiles, vêtements et lavage - Industrie du bois - Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Papeteries et cartonnerie
	<i>Esters</i>	9 (12)	Phosphates de tricrésyle (TCP)	Atelier de composition et de reproduction graphique, Imprimerie, Reliure - Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Production d'articles en cuir et de chaussures
	<i>Diisocyanates (résines PU)</i>	7 (16)	Diisocyanates	Branche automobile - Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc - Industrie du bois - Production d'articles en cuir et de chaussures - Produits en céramique, fabrication en verre - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction
	<i>Hydrocarbures</i>	6 (10)	-	
	<i>Alcools</i>	4 (4)	-	
	<i>Phénols</i>	3 (4)	(1) 2,4,6-trichlorophénol, (2) Phénolates	(1) Industrie du bois - Production d'articles en cuir et de chaussures - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction (2) Industrie chimique, production de matières synthétiques et d'articles en caoutchouc
	<i>Composés hétérocycliques</i>	3 (4)	Bases pyri(mi)diques (HAP-N)	Construction de fourneaux en catelles et cheminées - Galvanoplastie - Industrie du bois - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction
	<i>Organo"métalliques"</i>	3 (3)	-	
	<i>Composés organosulfurés</i>	2 (4)	-	
	<i>Organosilicones</i>	2 (3)	-	
	<i>Azoïques aromatiques</i>	1 (3)	Colorants azoïques	Industrie du bois - Production d'articles en cuir et de chaussures - Produits en ciment, chaux, plâtre, béton, génie-civil et construction, entreprises de construction
	<i>Glucides (polymère)</i>	1 (1)	-	

## 3. Substances non répertoriées dans l'OSites déjà retrouvées en Suisse

### 3.1. Substances non répertoriées déjà retrouvées dans les sites pollués

L'OFEV est régulièrement sollicitée par les cantons pour définir une valeur de concentration pour des substances qui ne sont pas répertoriées dans les Annexes 1 à 3 de l'OSites. Ce sont ainsi plusieurs dizaines de substances pour lesquelles une valeur de concentration a été établie, pour l'essentiel pour l'évaluation des atteintes portées aux eaux (cf. pdf OFEV en ligne : [Valeurs de concentration pour des substances qui ne figurent pas dans l'annexe 1 ou 3 OSites](#)).

Parmi celles-ci, celles demandées uniquement par les cantons de Bâle ou du Valais témoignent clairement de l'industrie chimique lourde ayant marqué ces cantons. De même, certaines substances demandées uniquement par les cantons du Jura et d'Argovie sont liées aux évaluations des décharges de Bonfol et de Kölliken, qui constituent des sites contaminés d'une ampleur exceptionnelle ayant accueilli les déchets de la chimie bâloise. Ces substances ne sont pas représentatives des activités industrielles les plus fréquentes du cadastre des sites pollués.

Exception faite de ces substances, nous avons identifié au sein de la liste, des substances pour lesquelles une valeur de concentration a été demandée par un ou plusieurs cantons, qui font partie des polluants émergents étudiés actuellement au niveau international. Au total 10 polluants ont été retenus (Tableau 5), notamment pour être soumis à l'appréciation des cantons ayant participé à l'enquête.

**Tableau 5** Sélection de substances ou familles de substances, non répertoriées dans l'OSites pour lesquelles une valeur de concentration a été demandée à l'OFEV.

Substances ou familles de substances	N°CAS	Origine la plus fréquente	Valeur de concentration dans les eaux	Cantons
1,4-dioxane	123-91-1	Solvant, additif aux solvants chlorés	0.05 mg/L	VS, BL, TG
1,2,3-trichloropropane	96-18-4	Solvant, détachant	0.0001 mg/L	VS, BL, TG
Dérivés d'aniline (dichloroanilines, méthylanilines, ...) autres que ceux de l'OSites	Plusieurs numéros	Colorants de synthèse, colorants de goudron	Plusieurs valeurs	AG, JU, VS, BL
Phtalates et dérivés	Plusieurs numéros	Plastifiants, matières plastiques	Plusieurs valeurs	TG, SG, VD
Chlorophénols et dérivés, autres que ceux de l'OSites	Plusieurs numéros	Phyosanitaires, désinfectants	Plusieurs valeurs	AG
Dioxines et furanes (PCDD-F)	Plusieurs numéros	Incinérateurs, fonderies, feux et incendies	0.07 ng TEQ /L	VS, TG, BL
Bore	7440-42-8	Diverses provenances	7 mg/L	FR, BL
Phosphate de tris(2-chloroéthyle) (TCEP)	115-96-8	Retardateur de flamme, plastifiant, régulateur de viscosité dans divers types de polymères	0.018 mg/L	FR
Phosphate de tricrésyle (TCP)	126-73-8	Solvants, plastifiants	0.35 mg/L	FR

### 3.2. Substances non répertoriées déjà retrouvées dans les eaux souterraines

La nécessité de prendre en compte d'autres substances que celles listées dans l'OSites dans les évaluations de sites pollués peut aussi être déduite des résultats de surveillance à long terme de la qualité des eaux souterraines en Suisse<sup>4</sup>. Le pays dispose du réseau NAQUA d'observation des eaux souterraines de plus de 600 points, dans lesquels sont mesurées régulièrement une sélection de substances présentes pour l'essentiel dans les listes de l'OEaux et de l'OSites (OFEV (éd.), 2019). Des études pilotes sont également menées ponctuellement par la Confédération pour analyser d'autres substances, dont des micropolluants. Les résultats de ces études confortent la sélection de substances opérée sur la base de la liste OFEV des valeurs de concentration (Tableau 5), ainsi que la nécessité d'étudier de manière approfondie les émissions de PFAS et de CAP-NSO par les sites pollués. En effet :

- En 2011 et 2012, le **1,4-dioxane** a été analysé dans 50 stations de prélèvement du réseau NAQUA. Des concentrations en 1,4-dioxane supérieures à 0.1 µg/L (mais inférieures à 1 µg/L) ont été mesurées dans 18 stations. Des concentrations supérieures à 1 µg/L ont été mesurées dans 2 stations. Aucune valeur ne dépassait la valeur de 6 µg/L de l'ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD<sup>5</sup>).
- En 2007 et 2008, certains **PFAS** ont été recherchés dans 49 stations de prélèvement. Au total 7 acides carboxyliques perfluorés, 3 acides sulfoniques perfluorés et 1 sulfonamide perfluoré ont été analysés. Des composés perfluorés ont été détectés dans 21 des 49 stations, mais à des concentrations généralement faibles (inférieures à 0.1 µg/L). Parmi les 11 substances recherchées, 7 ont été détectées.
- En 2007 et 2008, un « screening micropolluants » a été mené sur 22 stations de mesure pour analyser près de 200 substances organiques relativement bien solubles dans l'eau. Environ 50 substances ont été détectées, dont 30% étaient déjà incluses dans le programme de surveillance des eaux souterraines du réseau NAQUA. Ces substances étaient essentiellement des résidus de produits phytosanitaires ou de médicaments, des produits de soins corporels, ou des additifs alimentaires. Les seules substances détectées ayant une origine industrielle sont 2 agents anti-corrosifs (**benzotriazole** et **5-méthyl- benzotriazole**) et 8 acides naphthalène sulfoniques, **CAP-NSO** utilisés comme intermédiaires dans la fabrication de colorants, adjuvants pour le ciment et le plâtre ou comme émulsifiants et agents de dispersion.

De plus, entre 2006 et 2014, des **éléments-traces** ont été analysés dans 50 points de mesure du réseau. Les terres rares cérium, lanthane et yttrium ont été détectées dans 36 à 50 stations.

Pour compléter ces analyses, la section Bases hydrogéologiques de l'OFEV a récemment financé un travail de recherche conduisant à analyser des échantillons de 60 stations de prélèvement du réseau NAQUA à l'aide d'une chromatographie liquide à haute résolution couplée à une spectrométrie de masse (LC-HRMS/MS). Les 60 stations ont été sélectionnées pour être sous l'influence d'activités agricoles, ou bien d'activités urbaines, ou bien des deux, sans qu'aucune ne présente de niveaux élevés en substances (Kiefer et al., 2021).

Ces travaux montrent que les composés classiquement analysés dans les échantillons sont accompagnés d'autres substances, qui ne sont généralement pas recherchées. On constate toutefois que les concentrations de ces substances sont élevées lorsque les concentrations en composés classiques le

<sup>4</sup> La détection d'autres substances dans les eaux de surface ou le sol pourrait également conduire au même type de réflexion.

<sup>5</sup> RS 817.022.11 du 16 décembre 2016.

sont, et inversement, leurs concentrations sont faibles lorsque celles des composés classiquement recherchés le sont. Le LC-HRMS/MS a permis d'identifier une gamme de substances, dont notamment des composés qui n'avaient pas encore été mis en évidence dans les eaux souterraines (cf. Table 2, p.8 et Fig.4, p.9 dans (Kiefer et al., 2021)).

Plusieurs de ces composés sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques avec des groupements fonctionnels soufrés (acides sulfoniques) et/ou halogénés et/ou nitrés, pouvant avoir une origine industrielle. Ce sont ces composés – et une sélection de polluants émergents déjà retrouvés dans les eaux du réseau NAQUA – qui ont été retenus pour la suite de l'étude, notamment pour être intégrés au questionnaire d'enquête soumis aux cantons (liste de 10 substances au Tableau 6).

Les substances retenues proviennent le plus fréquemment des procédés de fabrication des **colorants** (cas des acides sulfoniques), interviennent comme intermédiaires de production (cas du triisopropanolamine borate) ou comme catalyseurs de **galvanoplastie** (cas de l'acide phénylphosphonique). Deux substances sont des **agents anti-corrosifs** (cas du benzotriazole et 5-méthyl- benzotriazole). On relève que les sulfonates - bases conjuguées des acides sulfoniques – sont mentionnés comme polluants possibles de l'**industrie du papier et du carton** dans l'aide à l'exécution de l'OFEV sur l'établissement du cadastre. Le 1,4-dioxane est un additif courant des solvants chlorés. Le cérium, le lanthane et l'yttrium sont des terres rares ayant plusieurs utilisations industrielles (métallurgie, industrie du verre (polissage) et de la céramique, présents dans certaines lampes fluorescentes, additifs aux carburants).

**Tableau 6** Liste de substances non répertoriées dans l'OSites détectées dans les eaux souterraines des stations de prélèvement du réseau NAQUA – retenues pour être confrontées au retour d'expérience des cantons.

Substances ou familles de substances	N°CAS	Origine la plus fréquente
Acide 2,5-dichloro benzène sulfonique	88-42-6	Production de pigments/colorants
Acide phénylphosphonique	1571-33-1	Catalyseur de galvanoplastie
Triisopropanolamine borate	101-00-8	Emulsifiant, intermédiaire de production, stabilisateur
Acide 2-Méthyl-5-Nitrobenzènesulfonique	121-03-9	Intermédiaire de colorants
Benzotriazole	95-14-7	Agent anti-corrosif
5-méthyl- benzotriazole	136-85-6	Agent anti-corrosif
1,4-dioxane	123-91-1	Solvant, additif aux solvants chlorés
Cérium	7440-45-1	Métallurgie, industrie du verre et de la céramique, lampes fluorescentes, additifs aux carburants
Lanthane	7439-91-0	
Yttrium	7440-65-5	

## 4. Polluants émergents non répertoriés dans l'OSites faisant l'objet d'un intérêt actuel au niveau international

### 4.1. Sources documentaires disponibles

Les polluants émergents font l'objet d'une abondante littérature, rendant impossible l'exhaustivité sur le sujet. Nous avons recensé 4 grandes catégories de sources d'information :

- Des bases de données (listes) de substances préoccupantes pour l'environnement établies au niveau national et international,
- Des publications scientifiques et techniques sur le thème des polluants émergents et des micropolluants,
- Des actes de conférences nationales et internationales,
- Des travaux en cours menés par des pays en vue d'approfondir le sujet et d'établir une réglementation sur des substances d'intérêt émergent.

**Des listes de substances préoccupantes** pour la santé humaine et son environnement ont été progressivement établies au niveau national et international, dans l'objectif d'améliorer la connaissance sur les substances et leur dangerosité, d'engager les états à adopter des politiques de réduction de leur utilisation, et d'établir des réglementations visant à limiter l'exposition des populations et de l'environnement à ces substances. Le Tableau 7 présente succinctement les bases de données qui nous paraissent les plus pertinentes pour dresser un état des lieux des polluants émergents d'intérêt actuel au niveau international. Il s'agit :

- Des bases de la **Convention de Stockholm** et de la **Convention de Rotterdam** au niveau international, entrées en vigueur en 2004. La première liste 35 polluants organiques persistants pour lesquels les pays signataires s'engagent à prendre des mesures pour arrêter leur production et leur utilisation. La seconde liste 53 produits chimiques dangereux qui ont été soit interdits soit strictement réglementés. La convention de Stockholm inventorie des composés qui possèdent une combinaison particulière de propriétés physiques et chimiques qui les rendent très persistants et mobiles dans l'environnement, ainsi que bioaccumulables et toxiques pour l'homme et la faune. Cette liste est régulièrement mise à jour et fait remonter les conclusions de résultats d'études et de veilles scientifiques sur les composés les plus préoccupants,
- Des listes européennes **NORMAN** et **REACH**. Le réseau européen NORMAN de surveillance des substances émergentes dans l'environnement a démarré ses activités en septembre 2005. Il a pour vocation de partager les connaissances et rassembler des informations sur les polluants émergents, encourager la validation et l'harmonisation des méthodes de mesure et surveillance, et assurer le transfert de connaissances. La liste des « substances émergentes » du réseau NORMAN concerne des composés qui ne sont actuellement pas inclus dans les programmes de surveillance de routine des pays européens, et qui peuvent être candidats à une future réglementation. La liste S15 NORMANPRI regroupe 60 substances qui ont été le plus fréquemment discutées en 2021. L'agence européenne des produits chimiques appliquant la réglementation REACH contre les risques liés aux substances chimiques a défini en 2021 une liste de 219 substances candidates pour être classées comme « substances extrêmement préoccupantes » (substances of very high concern (SVHC)). L'autorisation d'identifier la substance comme SVHC permet de veiller à ce qu'elle soit progressivement remplacée par d'autres substances ou technologies moins dangereuses lorsque des solutions de remplacement appropriées économiquement et techniquement viables existent,
- Des listes établies par l'agence de la protection de l'environnement des Etats-Unis. En 2021, 69 substances étaient ainsi recensées dans la liste CCL5, car elles sont susceptibles de se retrouver dans l'eau potable, alors qu'elles ne sont pas encore soumises à la réglementation de US EPA sur l'eau potable.
- Des listes établies au niveau national. L'Allemagne a ainsi défini en 2020, 259 substances persistantes, mobiles et toxiques (PMT) pouvant être critiques pour la qualité de l'eau potable.

De manière similaire, la France a mené en 2012 une étude prospective sur les polluants émergents dont il conviendrait d'approfondir la connaissance en raison de leur menace potentielle pour la qualité des eaux : plus de 170 substances mériteraient une attention particulière pour protéger les eaux de surface, et plus de 190 substances pour protéger les eaux souterraines.

**Les publications scientifiques** traitant de la question des polluants émergents sont très nombreuses. Ainsi les articles de revue recherchés par le mot-clé « emerging pollutants » par le moteur de recherche google scholar sont au nombre de 93400 pour la période 2017-2021, dont 7990 durant la seule année 2021. Le mot-clé recouvre une très large variété de travaux de recherche, que ce soit par le type de substances étudiées – chimiques, pharmaceutiques (antibiotiques) ou biologiques – ou le contexte (rejets urbains (stations d'épuration), rejets industriels actuels ou passés). De nombreux articles traitent du comportement des substances dans les différents compartiments de l'environnement et de leur toxicité et écotoxicité. Des recherches sont également menées sur les procédés de dépollution.

Le thème des polluants émergents est intégré à la plupart des **conférences nationales et internationales** consacrées aux sites, sols et sédiments pollués des 10 dernières années.

**Certains pays** ont d'ores et déjà engagé des travaux pour approfondir la connaissance sur les polluants émergents et mettre en place des **réglementations**. Ainsi en Belgique, l'agence publique des déchets de la région Flandres (**OVAM**) responsable de la gestion des déchets et de la réhabilitation des sols organise et anime depuis 2018 le réseau européen **EmConSoil** réunissant des acteurs publics et privés du domaine des sites et sols pollués. Des rencontres sous forme de groupes de travail sont organisées régulièrement sur le thème « Emerging policy challenges on new soil contaminants » (**ENSOr**). Les supports des rencontres peuvent être consultés sur le site <https://www.ovamenglish.be/emconsoil>. Trois documents décrivent les travaux réalisés en Flandres pour établir des valeurs de référence pour les PFAS (OVAM, 2021c, 2021a, 2021b).

Tableau 7 Bases de données (listes) nationales et internationales référençant des substances dangereuses avérées ou préoccupantes pour la santé et l'environnement.

Nom de la liste	Thématique environnementale	Source	Lien url
Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) (2001, entrée en vigueur 2004)	Substances persistantes, mobiles, bioaccumulables et toxiques	Internationale 2019 : 35 substances	<a href="https://tinyurl.com/StockholmPOP">https://tinyurl.com/StockholmPOP</a>
Annexe III - Convention de Rotterdam (1998, entrée en vigueur 2004)	Pesticides et produits chimiques industriels qui ont été soit interdits soit strictement réglementés	Internationale 53 produits chimiques	<a href="https://tinyurl.com/RotterdamConv">https://tinyurl.com/RotterdamConv</a>
NORMAN network : NORMAN List of Emerging Substances	Substances polluantes qui ne sont actuellement pas incluses dans les programmes de surveillance de routine au niveau européen et qui peuvent être candidates à une future réglementation, en fonction des recherches sur leur (éco)toxicité, leurs effets potentiels sur la santé et la perception du public, et des données de surveillance concernant leur présence dans les différents compartiments de l'environnement	Union Européenne 2021 : 1444 substances	<a href="https://tinyurl.com/NormanES">https://tinyurl.com/NormanES</a> <a href="https://tinyurl.com/SUSDAT">https://tinyurl.com/SUSDAT</a> (base de données d'échange SUSDAT : 106146 substances)
NORMAN network : S15 NORMANPRI	Liste NORMAN des substances émergentes et des polluants émergents les plus fréquemment discutés actuellement	2021 : 60 substances	<a href="https://tinyurl.com/NORMANPRI">https://tinyurl.com/NORMANPRI</a> <a href="https://zenodo.org/record/2624273">https://zenodo.org/record/2624273</a>
REACH substance of very high concern (SVHC)	Liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC) : substances qui peuvent avoir des effets graves et souvent irréversibles sur la santé humaine et l'environnement	Union Européenne	
- Liste des SVHC candidates en vue d'une autorisation (SVHCc)		2021 : 219 substances ou groupes (420 items)	<a href="https://tinyurl.com/SVHCcandidate">https://tinyurl.com/SVHCcandidate</a>
- Liste d'autorisations (SVHCa)	Liste des substances incluses dans l'Annexe XIV de REACH	2021 : 54 substances ou groupes (106 items)	<a href="https://tinyurl.com/SVHCauto">https://tinyurl.com/SVHCauto</a>
SIN list	Liste de produits chimiques dangereux qui sont utilisés dans une grande variété d'articles, de produits et de processus de fabrication dans le monde entier. L'abréviation SIN - Substitute It Now - implique que ces produits chimiques doivent être retirés <b>dès que possible</b> car ils constituent une menace pour la santé humaine et l'environnement. Basée sur REACH SVHC.	International ~ 1000	<a href="https://sinlist.chemsec.org/">https://sinlist.chemsec.org/</a>
European Human Biomonitoring Initiative (HBM4EU) Priority Substances	Biosurveillance d'une liste de substances prioritaires établies sur la base de leur dangerosité, l'exposition, le statut réglementaire, les préoccupations de la société et la faisabilité technique	Effort conjoint de 30 pays, de l'Agence européenne pour l'environnement et de la Commission européenne	<a href="https://tinyurl.com/HBM4EUPS">https://tinyurl.com/HBM4EUPS</a>
Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL). CCL5 : révision de 2021	Liste de contaminants de l'eau potable dont on sait ou dont on prévoit la présence dans les systèmes d'eau publics et qui ne sont pas actuellement soumis à la réglementation de l'EPA sur l'eau potable	US EPA 2021 : 69 substances	<a href="https://tinyurl.com/EPACCL5">https://tinyurl.com/EPACCL5</a>
Priority Pollutants Under the Clean Water Act	La liste est un point de départ important que l'EPA peut prendre en compte, par exemple, dans le développement de normes (telles que les directives sur les effluents) ou dans les programmes nationaux d'autorisation (tels que le NPDES).	US EPA Développées en 1976-1977 État en 2014 : 129 substances	<a href="https://tinyurl.com/EPAPPL">https://tinyurl.com/EPAPPL</a>
Toxic Substances Control Act (TSCA)	Evalue le risque d'exposition à de nouvelles substances et les régule si nécessaire pour limiter le risque	US EPA > 63000 substances	<a href="https://tinyurl.com/EPATSCAinv">https://tinyurl.com/EPATSCAinv</a>
Persistent, mobile and toxic substances in the environment (PMT) (NORMAN network : S36UBAPMT)	Identifie les substances qui sont persistantes dans l'environnement, mobiles en environnement aquatique et toxiques pouvant être critiques pour la qualité de l'eau potable	Umwelt Bundesamt Allemagne 2020 : 259 substances <a href="https://www.umweltbundesamt.de/en/PMT-substances">https://www.umweltbundesamt.de/en/PMT-substances</a>	<a href="https://tinyurl.com/PMTart">https://tinyurl.com/PMTart</a> <a href="https://zenodo.org/record/4323239">https://zenodo.org/record/4323239</a>
Liste INERIS	Etude prospective sur les contaminants émergents dans le milieu aquatique : identifie les substances à enjeu en matière de développement de connaissances toxicologiques et écotoxicologiques et de techniques analytiques	France - 2012 : Eau de surface > 170 substances Eaux souterraines > 190 substances	<a href="https://tinyurl.com/InerisAqua">https://tinyurl.com/InerisAqua</a>

## 4.2. Sources documentaires et polluants émergents retenus

Au sein de ces sources documentaires, nous avons opéré une sélection de documents qui nous semblaient pertinents pour identifier des substances qui pourraient avoir été émises par des activités industrielles et artisanales historiques, sans qu'elles soient recensées dans les listes de l'OSites.

Parmi les listes de substances préoccupantes établies au niveau national et international, nous avons sélectionné la liste européenne des substances extrêmement préoccupantes candidates en vue d'une autorisation (**SVHCc**, 219 substances), car elle répertorie des substances particulièrement dangereuses, qui peuvent avoir des effets graves et souvent irréversibles sur la santé humaine et l'environnement. La liste **PMT** (259 substances) établie par l'agence allemande de l'environnement (UBA) a également été retenue, car elle regroupe un ensemble de substances de la liste REACH qui ont été identifiées comme potentiellement persistantes, mobiles et toxiques pour l'environnement - représentant ainsi un risque de dégradation de la qualité des eaux potables – par un [travail de recherche](#) conduit par l'institut géotechnique de Norvège (NGI). De manière similaire, la liste **CCL5** des 69 substances établie par l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) nous a parue pertinente dans la mesure où elle propose de réglementer des substances, en raison de leur dangerosité et de leur présence avérée (ou de la forte probabilité de les retrouver) dans l'eau potable. La liste CCL5 est la 5<sup>ème</sup> liste établie par US EPA le 19 Juillet 2021.

Sur cette base, nous avons identifié **15 substances** qui sont citées dans au moins 2 de ces listes, et dont beaucoup (cas des substances mentionnées dans les listes CCL5 et PMT) sont susceptibles de se retrouver dans les eaux (Tableau 8). Pour certaines d'entre elles, une valeur de concentration a déjà été demandée à l'OFEV par les cantons car elles ne figuraient pas dans les Annexes de l'OSites, bien qu'elles aient été retrouvées dans des sites pollués (cf. paragraphe 3.1 et pdf OFEV [Valeurs de concentration qui ne figurent pas dans l'annexe 1 ou 3 de l'OSites](#)).

**Tableau 8** Substances d'intérêt retenues dans les listes REACH SVHCc (Union Européenne), CCL5 (US EPA) et PMT (Allemagne). Les pesticides, les produits pharmaceutiques et les substances déjà recensées dans l'OSites n'ont pas été retenus.

		UE	USA	D
Familles	Substances	SVHCc	CCL5	PMT
	TCEP (tris(2-chloroethyl) phosphate)	X	X	X
	Diglyme (di(2-méthoxyéthyl)éther)	X		X
	1,4-dioxane	X	X	X
Phénols	Nonylphénol	X	X	
	Dinosèbe (2,4-dinitro-6-(1-méthyl-propyl)phénol)	X		X
Composés halogénés	1,2,3-trichloropropane		X	X
Aniline et dérivés	4,4'-oxydianiline	X		X
	2-aminotoluène (o-toluidine)		X	X
Phtalates	Hexahydrométhylphthalic anhydride	X		X
	Cyclohexane-1,2-dicarboxylic anhydride	X		X
PFAS	PFBS (potassium 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutane-1-sulphonate)	X		X
	Ammonium 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propanoate	X		X
Composés aromatiques	4,4'-bis(diméthylamino)-4''-(méthylamino)trityl alcohol	X		X
	2-méthyl-1-(4-méthylthiophenyl)-2-morpholinopropan-1-one	X		X
	Bisphénol A (4,4'-isopropylidenediphenol)	X	X	

Parmi les publications scientifiques des 5 dernières années, une sélection d'articles de revue a été opérée afin d'avoir un aperçu général sur les groupes de substances identifiées comme polluants émergents et leurs propriétés, ainsi que des informations sur leur origine possible (Bilal et al., 2018; Chiaia-Hernández et al., 2020; Oberg & Leopold, 2019; Rasheed et al., 2019; Rathi et al., 2021; Sauvé & Desrosiers, 2014; UPDS, 2021; Vasilachi et al., 2021). Ces articles ont permis d'exclure une partie des

substances lorsque celles-ci ne sont produites ou utilisées que depuis récemment (postérieur à 1985) et ne relèvent pas d'activités industrielles recensées dans les cadastres des sites pollués (cas des produits cosmétiques ou d'hygiène corporelle p.ex.).

Les conférences européennes et américaines dont les actes ont été consultés pour identifier des polluants émergents d'intérêt pour les sites et sols pollués en Suisse sont indiquées dans le Tableau 9. Les sessions et les exposés mettent l'accent sur certains composés dont la préoccupation générale révèle leur caractère prioritaire ou à la mode. Les composés per- et poly-fluoroalkylés (PFAS, PFOA, PFOS, PFBA, PFBS) constituent l'essentiel des interventions, mais on retrouve également des substances ou familles de substances sélectionnées précédemment, comme le 1,4-dioxane, les perchlorates ou bien encore le bisphénol A.

**Tableau 9** Substances mentionnées dans les actes de conférences sur les sites, sols et sédiments pollués les plus récentes. Les pesticides, les produits pharmaceutiques et les substances recensées dans l'OSites n'ont pas été retenus.

Conférence	Substances	Lien url
AquaConsoil 2021	- Session spéciale PFAS - 1,4-dioxane - CAP-O - IHE (Insensitive high explosives) - PFOS, GenX (composé utilisé pour remplacer les PFOA)	<a href="https://aquaconsoil.com/congress-2021/">https://aquaconsoil.com/congress-2021/</a>
AquaConSoil 2019	- PFAS, PFOS, PFOA, GenX - Plomb - 1,4-dioxane comme co-contaminant sur les sites de solvants chlorés - PGE (Platinum group elements) - Métaux traces et métalloïdes - Norbornène - Retardateurs de flamme (p.ex. cyclodiène)	<a href="https://aquaconsoil.com/">https://aquaconsoil.com/</a>
BATELLE 2018	- IHE - 1,3-dinitrobenzène - Perchlorates - 1,4-dioxane - 1,2,3-trichloropropane - Bisphénol A - N-nitrosodiméthylamine - PFAS, PFBS, PFBA	<a href="https://www.battelle.org/conferences/battelle-conference-proceedings">https://www.battelle.org/conferences/battelle-conference-proceedings</a>
RemTech Europe 2021	Session spéciale PFAS	<a href="http://www.remtechexpo.com">http://www.remtechexpo.com</a>
Ensor 2021	PFAS	<a href="https://www.ovamenglish.be/emconsoil">https://www.ovamenglish.be/emconsoil</a>
Ensor 2018	PFAS, Plomb, PCB	
NordRocs 2018	- Session spéciale PFAS - 1,4-dioxane mélangé à du 1,1,1-trichloroéthane (TCA) et du dichloroéthane (DCA) - Perchlorates	<a href="http://nordrocs.org/nordrocs-2018/">http://nordrocs.org/nordrocs-2018/</a>

## 5. Consultation des cantons sur une liste restreinte de substances

---

### 5.1. Enquête auprès des cantons

A l'automne 2021, une enquête a été menée auprès de plusieurs cantons au moyen d'un questionnaire. Une liste de substances a été établie à partir de la liste des composés pour lesquels une valeur de concentration a été demandée à l'OFEV (cf. paragraphe 3.1), des polluants émergents détectés dans les eaux souterraines du réseau NAQUA (cf. paragraphe 3.2) et de ceux apparaissant dans les sources documentaires internationales (cf. chapitre 4). Le questionnaire demande aux responsables cantonaux en charge de l'évaluation des sites pollués si ces substances ont déjà été recherchées dans un ou des sites pollués du cadastre de leur canton, et quels ont été les résultats obtenus (questionnaire en Annexe informatique 2).

### 5.2. Réponses des cantons

Les réponses des cantons à l'enquête (Tableau 10) indiquent que très peu de substances sont recherchées dans les sites pollués en dehors de celles des listes des Annexes de l'OSites. Parmi les substances soumises à l'avis des cantons :

- Du 1,4-dioxane a été détecté dans un canton dans les eaux souterraines lors d'investigations d'une industrie chimique,
- Du 1,2,3-trichloropropane a été détecté dans un canton dans les eaux souterraines lors d'investigations d'une industrie chimique,
- De l'acide 2,5-dichloro benzène sulfonique a été recherché dans les eaux souterraines au niveau d'une ancienne imprimerie dans un canton, mais la concentration mesurée était inférieure à 1 µg/L.
- Des dioxines et furanes ont été détectés dans les sols de trois cantons aux alentours d'anciennes fonderies et d'anciens incinérateurs.

Des cantons mentionnent la détection de substances dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines à l'échelle régionale :

- Les composés organiques 1,4-dioxane, 1,2,3-trichloropropane, des dérivés d'aniline, du 2,4,6-trichlorophénol, des perchlorates, des alkylphénols, du benzotriazole et du 5-méthyl-triazole ont été détectés dans les eaux souterraines d'un canton,
- Les éléments I, Ba, As, B et Li ont été détectés dans le réseau de surveillance d'un autre canton.

Trois cantons interrogés suggèrent de plus de prendre en considération le phosphate de tris(2-chloroéthyle) (TCEP), le phosphate de tributyle (TBP), les explosifs nitropenta (PETN, tétranitrate de pentaérythritol) et hexogen (RDX, cyclotriméthylènetrinitramine), ainsi que le N,N-Diméthylsulfamide (DMS, résidu de produit phytosanitaire retrouvé dans les eaux souterraines du réseau NAQUA) dans l'inventaire des polluants émergents préoccupants. Les 4 premières substances bénéficient déjà d'une valeur de concentration dans la liste établie par l'OFEV à la demande des cantons.

Tableau 10 Synthèse des réponses des cantons à l'enquête sur les substances non répertoriées dans l'OSites recherchées dans les sites pollués des cadastres cantonaux.

Résumé du questionnaire		Réponses des cantons			
Substance ou famille de substances	Origines fréquentes	Canton	Contexte d'analyse	Milieu analysé	Concentration maximale mesurée
1,4-dioxane	Solvant, additif aux solvants chlorés	C	Surveillance régionale	Eaux souterraines	0.55 µg/L
		E	Investigation : industrie chimique	Eaux souterraines	300-500 µg/L (source) 4100 µg/L (canalisation défectueuse)
1,2,3-trichloropropane	Solvant, détachant	C	Surveillance régionale	Eaux souterraines	0.55 µg/L
		E	Investigation : industrie chimique	Eaux souterraines	0.3 µg/L
Dérivés d'aniline (dichloroanilines, méthylanilines, ...) autres que ceux de l'OSites	Colorants de synthèse, colorants de goudron	C	Surveillance régionale	Eaux souterraines	0.2 µg/L
Phtalates et dérivés	Plastifiants, matières plastiques				
Chlorophénols et dérivés, autres que ceux de l'OSites	Phytoprotecteurs				
Dioxines et furanes	Incinérateurs, fonderies, feux	C	Surveillance régionale : 2,4,6-trichlorophénol	Eaux souterraines	2.2 µg/L
		D	Investigation : incinérateur	Sols	640 ng TEQ /kg ms (WHO05 PCDD-F)
		A	Investigation : fonderie	Sols	1.4 à 9.5 ng TEQ/kg ms (WHO05 PCDD-F)
		E	Investigation : fonderies, incinérateurs	Sols	20 ng I-TEQ/kg 34-2157 ng I-TEQ/kg < 15 ng I-TEQ/kg 14 ng I-TEQ/kg
<i>Eléments chimiques, p.ex. V, Rb</i>	<i>Colorants</i>	B	<i>Surveillance régionale : I, Ba, As, B, Li</i>	<i>Eaux souterraines</i>	
Composés organobromés (p.ex. PBDE)	Ignifuges, retardateurs de flamme				
Perchlorates	Explosifs, munitions	C	Surveillance régionale	Eaux souterraines	12 µg/L
Alkylphénols, (p.ex. 4-nonylphénol, 4-tert-octylphénol) autres que ceux de l'OSites	Carbochimie (précurseurs de détergents, additifs de carburant et lubrifiants, etc.)	C	Surveillance régionale		1 mesure < limite de quantification
Benzotriazole, 5-méthyl- benzotriazole	Agents anti-corrosifs	C	Surveillance régionale		0.162 µg/L
Acide 2,5-dichloro benzène sulfonique	Production de pigments/colorants	A	Investigation : imprimerie	Eaux souterraines	< 1 µg/L
Acide phénylphosphonique	Catalyseur de galvanoplastie				
Triisopropanolamine borate	Emulsifiant, intermédiaire de production, stabilisateur				
Acide 2-Méthyl-5-Nitrobenzènesulfonique	Intermédiaire de colorants				

Résumé du questionnaire	
Substance ou famille de substances	Origines fréquentes
N,N-Diméthylsulfamide (DMS)	Résidu de produits phytosanitaires
<i>Phosphate de tris(2-chloroéthyle) (TCEP)</i>	<i>Retardateur de flamme, plastifiant, régulateur de viscosité dans divers types de polymères</i>
<i>Phosphate de tributyle (TBP)</i>	<i>Solvant, plastifiant</i>
Nitropenta et hexogen	Explosifs

Réponses des cantons			
Canton	Contexte d'analyse	Milieu analysé	Concentration maximale mesurée
C	Surveillance régionale	Eaux souterraines	0.239 µg/L
B		<i>Eaux souterraines</i>	
B		<i>Eaux souterraines</i>	
E			

Italique : réponses du canton B sur la base d'une discussion téléphonique. Cellule vide : pas d'information fournie par les cantons.

## 6. Synthèse des résultats

Le croisement des différentes sources d'information analysées dans ce travail nous permet d'identifier **14 substances ou groupes de substances** (Tableau 11), qui ne figurent pas dans les listes des Annexes de l'OSites, dont la dangerosité et le potentiel de dissémination ou d'accumulation dans l'environnement sont préoccupants, et qui ont pu être émises par les anciennes activités industrielles et artisanales recensées dans le cadastre suisse des sites pollués.

Une gradation peut être apportée sur le niveau de vigilance à avoir vis-à-vis de ces composés, sur la base des informations qui ont pu être rassemblées :

- Les substances qui ont déjà été retrouvées dans les eaux souterraines nous semblent les plus préoccupantes, qu'elles aient été détectées dans le réseau de surveillance national NAQUA, dans un réseau de surveillance cantonal, ou bien encore dans des forages piézométriques situés en aval à proximité de sites pollués. Il nous semble ainsi prioritaire de se préoccuper de la présence de : 1,4-dioxane, 1,2,3-trichloropropane, dérivés d'aniline comme le 2-aminotoluène, certains composés inorganiques (I, Ba, B, Li, Ce, La, Y, Nd), perchlorates, chlorophénols, tels que le 2,4,6-trichlorophénol, benzotriazole et 5-méthyl- benzotriazole, dans les eaux souterraines,
- Parmi les substances retrouvées dans les eaux souterraines, **le 1,4-dioxane, le 1,2,3-trichloropropane et des dérivés d'aniline comme le 2-aminotoluène** ont déjà fait l'objet de demandes de valeurs de concentration à l'OFEV par 3 à 4 cantons. Ces substances sont recensées dans 2 à 3 des 3 bases de données internationales (REACH SVHCc UE, CCL5 US EPA, PMT D) recensant les polluants émergents les plus préoccupants, et dans les actes de conférences les plus récentes. Nous estimons que le niveau de vigilance à accorder à ces composés est maximal (niveau de vigilance 1 du Tableau 11),
- La prise en compte **d'autres composés inorganiques** que ceux des listes des Annexes de l'OSites nous semble également importante (niveau de vigilance maximal 1), compte-tenu de la découverte de terres rares (Ce, La, Y, Nd) dans le réseau NAQUA sur une majorité de points d'observation (36 à 50 points de mesure sur 50), ainsi que de la détection de I, Ba, B, Li dans ce réseau et des réseaux de surveillance régionaux. Des valeurs de concentration ont déjà été demandées par certains cantons, et les conférences récentes traitent de ce sujet. Certains composés (p.ex. oxydes de vanadium et oxydes de néodyme utilisés comme colorants dans les produits en céramique et la fabrication du verre ; bore dans la production de textiles et la production et transformation de métaux non ferreux et fonderies, baryum dans l'industrie chimique) avaient déjà été associés au tissu industriel suisse dans l'aide à l'exécution sur l'établissement des cadastres,
- Des **chlorophénols** qui ne présentent pas de valeur dans l'OSites – tel que le **2,4,6-trichlorophénol** – ont été retrouvés dans les eaux souterraines et ont donné lieu à une demande de valeur de concentration à l'OFEV (pour le **2-chlorophénol**). Par ailleurs, le 2,4,6-trichlorophénol et les phénolates étaient mentionnés en association avec l'industrie du bois et l'industrie chimique dans l'aide à l'exécution sur l'établissement du cadastre. Les **dioxines et furanes** issus généralement de processus de combustion dans les incinérateurs, les fonderies ou bien encore les lieux d'incendie, sont dans la même situation mais restent des substances très peu solubles. Un niveau de vigilance 2 a été attribué à ces familles de substances,
- Les **phtalates et leurs dérivés** n'ont pas été retrouvés dans les eaux souterraines, mais une valeur de concentration a été demandée à l'OFEV par 3 cantons pour évaluer des sites pollués. Ces substances étaient de plus associées à de nombreuses activités du passé industriel suisse (industries chimiques, industrie du bois, imprimerie, etc.), tel qu'indiqué dans l'aide à l'exécution sur l'établissement des cadastres, ils nous semblent donc être assez préoccupants (niveau de vigilance 2),
- Les **perchlorates** sont retrouvés dans les eaux souterraines, et sont actuellement très étudiés au niveau international. Ils sont utilisés dans les munitions d'armes à feu, dans les feux d'artifice,

ou bien encore dans le traitement des cuirs. Le **benzotriazole** et le **5-méthyl- benzotriazole** sont également décelés dans les eaux souterraines, mais aucune valeur de concentration n'a été demandée par les cantons, et aucune information n'a été trouvée à leur sujet dans les actes des conférences et les articles les plus récents, ni dans l'aide à l'exécution. Nous considérons néanmoins leur présence dans les eaux préoccupante (niveau de vigilance 2),

- Les phosphates TCEP, TBP et TCP ont été analysés et n'ont pas été détectés dans les eaux souterraines, mais ont fait l'objet d'une demande de valeur de concentration auprès de l'OFEV par un canton. Le TCEP est recensé dans les 3 bases de données internationales retenues dans cette étude (SVHCc, CCL5, PMT), tandis que le TCP est mentionné dans l'aide à l'exécution comme polluant potentiel des imprimeries, industries chimiques, et production d'articles en cuir. Un niveau de vigilance 3 leur a été attribué,
- Les autres composés recensés (composés organobromés, bisphénol A et alkylphénols) n'ont pas été détectés dans les eaux souterraines et aucune valeur de concentration n'a été demandée à l'OFEV. Pour le moment, un niveau de vigilance minimale leur a été attribué (niveau de vigilance 4), mais cette appréciation doit être prise avec précaution. Les organobromés sont en effet des composés toxiques avérés, cités dans les conventions de Stockholm et de Rotterdam. Les retardateurs de flamme de type HBCD (hexabromocyclododécane) sont interdits de production et utilisation en Suisse depuis 2013, tandis que les PBDE le sont au moins depuis 2019. Le bisphénol A et des alkylphénols sont quant à eux référencés dans les 3 bases de données des polluants émergents menaçant les eaux prises comme référence (SVHCc, CCL5, PMT). Le bisphénol A apparaît de plus dans les actes des conférences les plus récentes.

Tableau 11 Synthèse hiérarchisée des substances ou familles de substances retrouvées dans plusieurs sources d'information analysées dans la présente étude.

Vigilance	Substance ou famille de substances	Origines fréquentes	N°CAS	Eso	Liste OFEV	Conférences	Bases	AAE Cadastre
1	1,4-dioxane	Solvant, additif aux solvants chlorés	123-91-1	X	X	X	X	
1	1,2,3-trichloropropane	Solvant, détachant	96-18-4	X	X	X	X	
1	Dérivés d'aniline, tel que 2-aminotoluène	Colorants de synthèse, colorants de goudron		X	X	X	X	
1	Éléments chimiques, dont I, Ba, B, Li, terres rares (Ce, La, Y, Nd)	Diverses provenances (p.ex. colorants)		X	X	X		X
2	Chlorophénols, dont 2,4,6-trichlorophénol	Désinfectants, pesticides, herbicides, traitement du bois, fabrication de colorants		X	X			X
1	Dioxines et furanes	Incinérateurs, fonderies, feux, incendies		X	X			X
2	Phtalates et dérivés	Plastifiants, matières plastiques			X			X
2	Perchlorates	Explosifs, munitions		X		X		
2	Benzotriazole, 5-méthyl- benzotriazole	Agents anti-corrosifs	95-14-7 136-85-6	X				
3	Phosphate de tris(2-chloroéthyle) (TCEP)	Retardateur de flamme, plastifiant, régulateur de viscosité dans divers types de polymères	115-96-8		X		X	
3	Phosphate de tributyle (TBP), phosphate de tricrésyle (TCP)	Solvants, plastifiants	126-73-8 78-30-8		X			X
4	Bisphénol A (4,4'-isopropylidenediphenol)	Base de fabrication de plastiques et de résines	80-05-7			X	X	
4	Composés organobromés, dont le polybromodiphényléther (PBDE) et le hexabromocyclododécane (HBCD)	Ignifuges, retardateurs de flamme				X	X	
4	Alkylphénols, (p.ex. 4-nonylphénol, 4-tert-octylphénol)	Carbochimie (précurseurs de détergents, additifs de carburant et lubrifiants, etc.)					X	

Vigilance : niveau de vigilance à avoir vis-à-vis des substances, sur une échelle de 1 (vigilance maximale) à 4 (vigilance minimale). Eso : substances détectées dans les eaux souterraines au niveau cantonal ou fédéral ; Liste OFEV : substances pour lesquelles une valeur de concentration a été demandée à l'OFEV par les cantons pour des sites pollués ; Conférences, Bases : substances mentionnées dans les actes de conférences et bases de données internationales récentes sur les sites, sols et sédiments pollués ; AAE Cadastre : substances attribuées à des activités industrielles et artisanales passées dans l'aide à l'exécution pour l'établissement du cadastre des sites pollués.

## 7. Synthèse finale et recommandations

La présente étude avait pour objectif de déterminer si des substances ou familles de substances – autres que celles figurant dans les listes des Annexes de l'OSites - mériteraient d'être prises en considération dans les évaluations de sites pollués en Suisse, parmi les polluants émergents faisant actuellement l'objet d'une très abondante littérature et de très nombreuses conférences au niveau international. L'analyse d'une liste ciblée de sources d'information nous indique que le terme de polluants émergents recouvre une large gamme de composés qui ne peuvent pas provenir de l'héritage du passé industriel suisse, car ils sont issus de processus de fabrication récents, généralement postérieurs à 1985, date à partir de laquelle les activités industrielles ne sont plus concernées par l'OSites (cas de nombreux produits cosmétiques, d'hygiène corporelle, etc...). D'autres composés qualifiés de polluants émergents sont issus d'autres activités que les activités industrielles, artisanales, lieux d'accident et stands de tir couverts par l'OSites. Il s'agit par exemple des produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture ou bien de substances trouvées dans les rejets des stations d'épuration communales. La liste des polluants émergents susceptibles d'être émis par des sites relevant de l'OSites est ainsi fortement réduite, une fois ces substances écartées.

Au sein de cette liste, l'intérêt de la communauté internationale porte actuellement **majoritairement** sur les **PFAS**. De nombreux travaux de recherche sont en cours pour être capables de les analyser, mieux comprendre leur comportement dans l'environnement et évaluer leur toxicité. En Suisse comme dans d'autres pays, des campagnes de mesure des PFAS dans les eaux, les sols et les sédiments sont organisées et des réglementations sont en cours de réflexion. Dans une moindre mesure, les **CAP-NSO** sont également étudiés activement. Notre intérêt s'est porté sur les autres polluants émergents pouvant avoir été disséminés par les activités industrielles et artisanales passées helvétiques, puisque l'OFEV conduit actuellement des travaux ciblés sur les PFAS et les CAP-NSO.

Le croisement de différentes sources d'information nous a permis d'identifier **14 substances ou familles de substances** qui ne présentent pas de valeurs de concentration de référence dans l'OSites, qui pourraient avoir été émises par des sites pollués recensés dans le cadastre, et dont la dangerosité est avérée ou fortement suspectée. Nous considérons ces substances comme très préoccupantes lorsqu'elles ont déjà été retrouvées dans les eaux souterraines, que ce soit dans les réseaux de surveillance de la qualité des eaux nationale (NAQUA) ou régionale, ou bien en aval proche de sites pollués. La liste, présentée au Tableau 11, comprend :

- Un additif de solvant et un solvant : le 1,4-dioxane, et le 1,2,3-trichloropropane,
- Des dérivés d'aniline, tel que le 2-aminotoluène, utilisés dans l'industrie des colorants de synthèse pour produire de grandes quantités de couleurs,
- Des chlorophénols, tels que le 2,4,6-trichlorophénol, utilisés comme désinfectants, pesticides, herbicides, dans la présence est associée à diverses activités de traitement du bois ou de fabrication de colorants par exemple,
- Les perchlorates présents dans les munitions et les explosifs,
- Des agents plastifiants, incluant les phtalates et leurs dérivés, et le bisphénol A,
- Les agents anti-corrosifs comportant du benzotriazole ou du 5-méthyl- benzotriazole,
- Des retardateurs de flamme, formés de composés organobromés, tels que le polybromodiphényléther (PBDE) ou le hexabromocyclododécane (HBCD), ou de composés organophosphorés, tels que le phosphate de tris(2-chloroéthyle) (TCEP), le phosphate de tributyle (TBP) ou le phosphate de tricrésyle (TCP), dont l'utilisation est plus récente et vient remplacer celle des composés organobromés,
- Les alkylphénols (octylphénols, nonylphénols) issus de la carbochimie, ayant de multiples applications industrielles, telles que la production de détergents ou de polymères,
- Des composés inorganiques, éléments chimiques, tels que l'iode, le bayum, le bore, le lithium, le cérium, le lanthane, l'yttrium ou le néodyme, intervenant notamment dans la production de colorants, et dans de nombreux autres processus industriels,

- Les dioxines et furanes, produits lors de combustions incomplètes dans les incinérateurs, les fonderies, les lieux de feux et incendies, qui – bien que peu solubles - peuvent se retrouver dans les eaux de rejet de ces industries ou activités.

Certaines substances de la liste (cas du 1,4-dioxane et du 1,2,3-trichloropropane) peuvent provenir d'activités qui font déjà l'objet d'une grande vigilance de la part des autorités d'exécution de l'OSites, en raison du grand nombre de sites ayant un impact sur l'environnement nécessitant une surveillance ou un assainissement (activités de production et transformation de métaux et blanchisseries, utilisant des solvants). D'autres proviennent d'autres activités que celles mises en lumière jusqu'à présent par les évaluations de sites se basant sur les seules substances des Annexes de l'OSites, telles que les industries fabricant ou utilisant des colorants (cas des industries chimiques, imprimeries, filières de production de céramique ou de cuir), la carbochimie fabricant des agents plastifiants ou des résines, ou bien encore l'industrie du bois utilisant divers produits pour traiter le bois.

Cette liste de substances est réduite, et nous ne pouvons prétendre à l'exhaustivité étant donné l'abondante littérature sur le thème des polluants émergents, mais c'est un faisceau d'indices qui nous porte à croire que ces substances doivent faire l'objet d'une vigilance accrue dans les évaluations de sites pollués.

Mais comme pour les PFAS ou les CAP-NSO, de nombreuses informations doivent encore être rassemblées pour approfondir la connaissance sur leurs propriétés, les protocoles analytiques, ou bien encore les valeurs réglementaires déjà existantes au niveau suisse dans d'autres domaines que les sites pollués ou bien au niveau international, avant de définir la stratégie à adopter vis-à-vis de ces substances.

De même, il serait utile de déterminer plus précisément la nature, le nombre et l'ampleur des anciennes activités qui pourraient avoir rejeté ces substances, puis de les rechercher par une campagne de prélèvements dans une sélection de sites pilotes. L'analyse de ces substances dans le cadre des programmes de surveillance régionale des eaux souterraines pourrait constituer un préalable, en sélectionnant des points de mesure (forages piézométriques, captages d'eau potable, sources) sous l'influence avérée ou très probable de sites pollués susceptibles de les rejeter.

Il est en effet nécessaire de mettre en relation le niveau de concentration qui peut être attendu dans les eaux souterraines et les valeurs toxicologiques de référence déterminant la dangerosité du produit. Il se peut que certaines substances ne soient présentes dans les eaux qu'à de très faibles concentrations, qui n'induisent pas d'effet significatif sur la santé humaine, ou sur son environnement. La question se pose par exemple pour le 1,4-dioxane, qui se trouve probablement en très petites quantités dans les eaux, puisqu'il était utilisé comme additif à des solvants chlorés. Les substances entrant dans la composition des colorants peuvent également avoir été rejetées en très faibles quantités. En témoigne par exemple, l'analyse menée par le canton de Berne au niveau d'une imprimerie, qui révéla que la concentration dans les eaux souterraines en acide 2,5-dichlorobenzène sulfonique utilisé comme pigment était inférieure à 1 µg/L.

Ces éléments permettront d'apprécier si des valeurs de concentration pour ces substances mériteraient d'être ajoutées aux listes des Annexes de l'OSites pour évaluer les besoins de surveillance ou d'assainissement des sites pollués.

En complément de ces résultats, le travail réalisé met le doigt sur la difficulté de définir une liste restreinte et figée de valeurs de concentration pour évaluer les sites pollués, compte-tenu de la multiplicité des substances (ou groupes de substances) jugées préoccupantes dans les différentes sources documentaires. L'exercice est d'autant plus complexe que la connaissance sur les substances et les capacités analytiques progressent continuellement, de sorte que certaines d'entre elles vont se révéler moins ou au contraire plus dangereuses dans le futur, que ce qui est estimé actuellement. De « nouvelles » substances issues du passé industriel pourraient également encore être découvertes ou redécouvertes. Ces constats soulignent l'intérêt de méthodes alternatives d'évaluation de l'impact des polluants chimiques sur l'homme et son environnement :

- Les méthodes analytiques de **screening non ciblé** sont utiles pour identifier une large gamme de substances dans un milieu, bien qu'elles présentent des limitations, comme l'impossibilité de détecter toutes les substances ou de les quantifier, la nécessité de disposer de standards, ou bien encore leurs coûts non négligeables liés à l'interprétation des résultats,
- Les **bioessais** mesurant les réactions de cellules, organismes ou communautés à des polluants présents dans l'environnement, permettent d'apprécier l'impact d'un mélange de substances, qu'elles soient connues ou inconnues. Des **tests écotoxicologiques standardisés** sont déjà utilisés en routine dans certains pays dans un cadre réglementaire pour surveiller la qualité des milieux. Ces biotests gagneraient à être utilisés plus couramment dans les investigations de sites pollués, en complément des analyses classiques des substances chimiques, pour apprécier l'état du milieu et son impact, alors que toutes les substances chimiques n'ont pas été analysées. **L'établissement d'un référentiel**, au même titre que celui déjà existant pour les analyses chimiques, systématiserait et faciliterait l'utilisation de ces tests par les professionnels des sites pollués.

Enfin, nous insistons sur le fait que l'accent a été mis dans cette étude sur les polluants émergents susceptibles de se retrouver dans les eaux souterraines, car l'OSites a été conçue pour protéger en priorité ce milieu, qui constitue l'essentiel de la ressource en potable de la Suisse. Pour autant, les substances identifiées comme préoccupantes pour les eaux souterraines le sont aussi pour les eaux de surface. Des travaux ont déjà été menés sur la recherche de polluants émergents dans les eaux de surface, comme par exemple les campagnes de mesure menées par (Ramseier Gentile et al., 2013) dans les eaux du lac Léman. Ce sujet demanderait néanmoins à être approfondi. De même, l'étude gagnerait à être complétée par une recherche ciblée des polluants émergents qui pourraient se retrouver dans les sols par dissémination aérienne de gaz et poussières d'anciennes usines (cas des anciens incinérateurs ou anciennes fonderies), dans les gaz du sol ou bien dans les sédiments.

Neuchâtel, le 1<sup>er</sup> Février 2022



Hélène Demougeot-Renard  
Directrice eOde



Sonia Tarnawski  
Collaboratrice scientifique eOde

## Bibliographie

- ARCADIS. (2021). *Entscheidungsgrundlagen für den Vollzug bei PFAS-belasteten Standorten in der Schweiz* (p. 113). OFEV.
- Bilal, M., Rasheed, T., Iqbal, H. M. N., & Yan, Y. (2018). Peroxidases-assisted removal of environmentally-related hazardous pollutants with reference to the reaction mechanisms of industrial dyes. *Science of The Total Environment*, *644*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.274>
- Chiaia-Hernández, A. C., Scheringer, M., Müller, A., Stieger, G., Wächter, D., Keller, A., Pintado-Herrera, M. G., Lara-Martin, P. A., Bucheli, T. D., & Hollender, J. (2020). Target and suspect screening analysis reveals persistent emerging organic contaminants in soils and sediments. *Science of The Total Environment*, *740*, 140181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140181>
- eOde, H. (2017). *Danger à long terme des sites pollués aux hydrocarbures lourds (HAP). Etat des connaissances et recommandations* (p. 52) [Eode Sàrl]. OFEV.
- Kiefer, K., Du, L., Singer, H., & Hollender, J. (2021). Identification of LC-HRMS nontarget signals in groundwater after source related prioritization. *Water Research*, *196*, 116994. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116994>
- Oberg, G., & Leopold, A. (2019). On the role of review papers in the face of escalating publication rates—A case study of research on contaminants of emerging concern (CECs). *Environment International*, *131*, 104960. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104960>
- OFEFP (OFEV, éd.). (2001). *Etablissement du cadastre des sites pollués (VU-3411-F; L'environnement pratique*, p. 128).
- OFEV (éd.). (2013). *Détermination des valeurs de concentration et des valeurs limites. Aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur les sites contaminés et l'ordonnance sur le traitement des déchets*. (N° 1333; L'environnement pratique, p. 21).
- OFEV (éd.). (2019). *Etat et évolution des eaux souterraines en Suisse. Résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA, état 2016* (N° 1901; Etat de l'environnement, p. 144).
- Ramseier Gentile, S., Edder, P., & Loizeau, J.-L. (2013). Polluants émergents; stratégie de surveillance de la contamination des eaux de surface et implications pour le traitement des eaux potables—Cas du Léman. *66*, 173-188.
- Rasheed, T., Bilal, M., Nabeel, F., Adeel, M., & Iqbal, H. M. N. (2019). Environmentally-related contaminants of high concern : Potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment. *Environment International*, *122*, 52-66. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.038>
- Rathi, B. S., Kumar, P. S., & Show, P.-L. (2021). A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems : Current trends and scope for further research. *Journal of Hazardous Materials*, *409*, 124413. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413>
- Sauvé, S., & Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, *8*(1), 15. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-15>
- UPDS. (2021). *UPDS MAG n°9. Dossier « Polluants émergents »*. Unio des professionnels de la dépollution des sites.
- Vasilachi, I., Asiminicesei, D., Fertu, D., & Gavrilesco, M. (2021). Occurrence and Fate of Emerging Pollutants in Water Environment and Options for Their Removal. *Water*, *13*(2), 181. <https://doi.org/10.3390/w13020181>
- Wietor, J.-L. (2020). *PFAS: Avoiding the streetlight effect* (p. 10) [Chemical, Industry and Health]. European Environmental Bureau.

## Listes des figures

---

Figure 1 Représentation schématique de la démarche mise en œuvre pour identifier des polluants émergents qui mériteraient d'être pris en considération dans les investigations de sites pollués. .... 12

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 Branches d'activité ayant donné lieu au plus grand nombre de sites pollués inscrits au cadastre en 2018 et aux plus grands pourcentages de sites contaminés à surveiller ou assainir. ....	14
Tableau 2 Groupes et nombre de substances avec valeurs de concentration de référence dans les Annexes 1 à 3 de l'OSites. ....	15
Tableau 3 Nombre de substances ou mélange de substances référencées par branche d'activité dans l'aide à l'exécution pour l'établissement du cadastre et parmi celles-ci, nombre de substances non mentionnées dans l'OSites. Branches classées par nombre de substances non OSites décroissant.	16
Tableau 4 Liste des substances mentionnées dans l'aide à l'exécution pour l'établissement du cadastre (OFEFP (OFEV, éd.), 2001) mais non recensées dans les Annexes de l'OSites - retenues pour leur fréquence de citation, leur potentiel de mobilisation dans les eaux et leur toxicité. ....	17
Tableau 5 Sélection de substances ou familles de substances, non répertoriées dans l'OSites pour lesquelles une valeur de concentration a été demandée à l'OFEV. ....	18
Tableau 6 Liste de substances non répertoriées dans l'OSites détectées dans les eaux souterraines des stations de prélèvement du réseau NAQUA – retenues pour être confrontées au retour d'expérience des cantons. ....	20
Tableau 7 Bases de données (listes) nationales et internationales référençant des substances dangereuses avérées ou préoccupantes pour la santé et l'environnement. ....	23
Tableau 8 Substances d'intérêt retenues dans les listes REACH SVHCc (Union Européenne), CCL5 (US EPA) et PMT (Allemagne). Les pesticides, les produits pharmaceutiques et les substances déjà recensées dans l'OSites n'ont pas été retenus. ....	24
Tableau 9 Substances mentionnées dans les actes de conférences sur les sites, sols et sédiments pollués les plus récentes. Les pesticides, les produits pharmaceutiques et les substances recensées dans l'OSites n'ont pas été retenus. ....	25
Tableau 10 Synthèse des réponses des cantons à l'enquête sur les substances non répertoriées dans l'OSites recherchées dans les sites pollués des cadastres cantonaux. ....	27
Tableau 11 Synthèse hiérarchisée des substances ou familles de substances retrouvées dans plusieurs sources d'information analysées dans la présente étude. ....	31