

Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés

Un module de l'aide à l'exécution « Gestion générale des sites pollués »



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés

Un module de l'aide à l'exécution « Gestion générale des sites pollués »

Impressum

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise les exigences du droit fédéral de l'environnement (notions juridiques indéterminées, portée et exercice du pouvoir d'appréciation) et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur.

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

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

Auteurs

Satenig Chadoian, division Droit, OFEV; Thomas Eisenlohr, Dr. Heinrich Jäckli AG; Monika Schwab, division Sols et biotechnologie, OFEV.

Organisation ChloroNet

Le projet ChloroNet est financé par l'OFEV ainsi que par le canton de Zurich.

La direction générale du projet est assurée par l'OFEV (Christiane Wermeille) et les cantons de Berne (Olivier Kissling), de Genève (Alain Davit), de St-Gall (Heinrich Adler) et de Zurich (Jean-Claude Hofstetter).

La gestion du projet incombe à l'AWEL (Gabriele Büring-Stucki) et à l'OFEV (Monika Schwab).

Groupes de travail ChloroNet

Jürgen Abrecht, GEOTEST SA; Mathieu Boéchat, RWB Neuchâtel SA; Daniel Bürgi, Friedli Partner AG; Gabriele Büring, AWEL; Marc-André Dubath, GEOTEST SA; Thomas Eisenlohr, Dr. Heinrich Jäckli AG; Manfred Flum, Villiger-Systemtechnik AG; Bettina Flury, AWEL; Bernhold Hahn, Peter Link AG puis AWEL; Siegfried Hartnagel, Amt für Umwelt und Energie Kt. BS; Daniel Hunkeler, Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie CHYN; Antoine Indaco, CSD Ingénieurs Conseils SA; Walter Labhart, Dr. Heinrich Jäckli AG; Lorenz Lehmann; ecosens SA; Sébastien Meylan, CIMO; Reto Philipp, magma AG; Peter Polack, Institut géotech-

nique SA; Yvan Rossier, HydroGeAp Sàrl; Thomas Schmid, AfU Aargau; Winfried Stehle, ABB; Tilman Theurer, magma AG.

Accompagnement OFEV des groupes de travail

Rolf Kettler, division Sols et biotechnologie; Sybille Kilchmann, division Eaux; Siegfried Lager, division Droit; Reto Muralt, division Eaux; Reto Tietz, division Sols et biotechnologie

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2018: Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés. Un module de l'aide à l'exécution «Gestion générale des sites pollués». Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1833: 48 p.

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

Assainissement d'un site pollué au Per

©FRIEDLIPARTNER AG

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uv-1833-f

(il n'est pas possible de commander une version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2018

Abstracts

The investigation and remediation of sites contaminated with chlorinated hydrocarbons (CHCs) is often complex, long and costly. This is due to the high mobility of CHCs, their often complex underground distribution patterns, and the fact that this frequently leads to difficulty in localising the contamination. The ChloroNet project was set up in 2007 to focus on the specific properties of this substance group. In working groups made up of actors from the field of CHC contamination, ChloroNet has developed practical solutions for environmentally and economically optimised management of sites contaminated with CHCs. These solutions are grouped together in this enforcement aid module "Management of CHC-contaminated sites".

L'investigation et l'assainissement des sites pollués par des HCC s'avèrent souvent complexes, laborieux et coûteux. Cela est surtout dû à la mobilité élevée et à la répartition irrégulière des polluants dans le sous-sol, ce qui rend souvent difficile la localisation de la contamination. Le projet ChloroNet a été lancé en 2007 afin de se pencher sur les propriétés particulières de ce groupe de substances. Dans le cadre de groupes de travail composés d'acteurs du domaine des sites pollués par des HCC, ChloroNet a développé des solutions pratiques pour un traitement écologique et économique optimisé de ces sites. Ces solutions sont rassemblées dans le présent module «Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés».

Aufgrund der hohen Mobilität, der oft komplexen Verteilungsmustern von CKW im Untergrund sowie der dadurch häufig schwierigen Lokalisierung der Verschmutzung erweisen sich Untersuchungen und Sanierungen von CKW-Belastungen oft als komplex, langwierig und finanziell aufwendig. Um den speziellen Eigenschaften dieser Stoffgruppe Rechnung zu tragen, werden im Rahmen des Projektes ChloroNet seit 2007 gemeinsam mit den Akteuren im Bereich der CKW-Belastungen, praxistaugliche Lösungen für einen ökologisch und wirtschaftlich optimierten Umgang mit CKW-Belastungen entwickelt, welche im vorliegenden Vollzugshilfemodul «Umgang mit CKW-Standorten» aggregiert sind.

L'elevata mobilità, la sovente complessa modalità di ripartizione degli idrocarburi clorurati (CHC) nel sottosuolo e la conseguente difficile localizzazione dell'inquinamento da CHC rendono spesso complesse, lunghe e onerose le indagini e il risanamento dei siti inquinati. Per poter tenere conto delle proprietà di questo gruppo di sostanze, nel quadro del progetto ChloroNet e in collaborazione con gli specialisti del settore, dal 2007 sono state elaborate soluzioni pratiche per una gestione ecologica ed economica ottimale degli inquinamenti da CHC. Tali soluzioni sono riunite nel presente modulo dell'aiuto all'esecuzione «Gestione dei siti con CHC».

Keywords:

Chlorinated hydrocarbons (CHCs), ChloroNet, polluted sites, contaminated sites, CHC-contaminated sites

Mots-clés :

Hydrocarbures chlorés (HCC), ChloroNet, sites pollués, sites contaminés, sites pollués par des HCC

Stichwörter:

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), ChloroNet, belastete Standorte, Altlasten, CKW-Standorte

Parole chiave:

Idrocarburi clorurati (CHC), ChloroNet, siti inquinati, siti contaminati, siti con CHC

Avant-propos

L'utilisation commerciale des hydrocarbures chlorés (HCC) en Suisse a débuté dans les années 1920. Ils étaient employés comme détergents et solvants, parfois en grandes quantités. En conséquence, nous comptons aujourd'hui environ 12 300 sites pollués par des HCC. Le risque que représentent ces pollutions pour les eaux souterraines utilisées comme eau potable, ou destinées à l'être, doit être pris au sérieux. Comme toutes les substances étrangères persistantes, les HCC n'ont pas leur place dans l'eau potable en raison de leur toxicité pour les hommes et les animaux.

Le présent module de l'aide à l'exécution « Gestion générale des sites pollués » présente les particularités dont il faut tenir compte lors de l'investigation, de l'évaluation des risques, de la détermination des buts et de l'urgence d'un assainissement, ainsi que dans le cadre d'autres aspects liés au traitement des sites pollués par des HCC. Cela doit garantir que l'ordonnance sur les sites contaminés puisse remplir ses objectifs, c'est-à-dire que les sites pollués soient assainis s'ils engendrent des atteintes nuisibles ou incommodantes pour l'environnement.

Le présent module consolide les nombreuses publications élaborées dans le cadre de la plateforme ChloroNet et contribue ainsi à l'égalité et à la sécurité juridiques. Une procédure respectant les principes qui y sont décrits fait en outre partie des conditions à remplir pour l'octroi d'indemnités conformément à l'ordonnance relative à la taxe pour l'assainissement des sites contaminés.

Franziska Schwarz
Sous-directrice
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction

1.1 Situation initiale

Polluants mobiles, persistants et toxiques, les hydrocarbures chlorés (HCC) menacent en maints endroits la qualité des eaux souterraines. On estime que 1100 sites contaminés par des HCC devront être assainis au cours des prochaines décennies. Les HCC les plus répandus sont le tétrachloréthène¹ (Per), le trichloréthène² (Tri) et leurs produits de dégradation³.

L'investigation et l'assainissement des sites pollués par des HCC s'avèrent généralement complexes, laborieux et coûteux, en raison surtout du degré élevé de mobilité et de densité, de la forte pression de vapeur et de la répartition irrégulière des polluants dans le sous-sol, ce qui rend souvent difficile la localisation de la contamination. Une dégradation lente et souvent incomplète, des produits de dégradation plus toxiques et des incertitudes dans l'échantillonnage viennent compliquer encore le traitement de ces pollutions.

Le projet ChloroNet, consacré aux propriétés particulières de ce groupe de substances, a été lancé en 2007. Le canton de Zurich et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) se partagent la responsabilité et le financement de ChloroNet. De plus, les cantons de la direction générale du projet, soit Berne, Genève et St-Gall, soutiennent le projet. Dans le cadre de groupes de travail composés d'acteurs du domaine des sites pollués par des HCC, ChloroNet a développé des solutions pratiques pour un traitement écologique et économique optimisé de ces sites. Ces solutions sont rassemblées ici.

1.2 Bases légales

Les dispositions légales générales relatives à l'assainissement des décharges et des autres sites pollués par des déchets, ainsi qu'à la prise en charge des frais et le

financement de l'assainissement sont décrites dans les art. 32c à 32e de la loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01). Les questions liées à l'assainissement des sites contaminés sont concrétisées dans l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites; RS 814.680). Celles concernant le financement de l'assainissement des sites contaminés au moyen d'une taxe (art. 32e LPE), de même que les conditions d'octroi de l'indemnité sont précisées dans l'ordonnance relative à la taxe pour l'assainissement des sites contaminés (OTAS; RS 814.681). Ces bases légales s'appliquent toutes également à l'assainissement des sites contaminés par des HCC.

Comme le présent module se limite aux particularités de la gestion des sites pollués par des HCC sans donner plus de détails sur la prise en charge des frais et le financement, ce sont surtout l'art. 32c LPE et l'OSites qui sont pertinents dans ce document. D'autres lois et ordonnances doivent notamment aussi être prises en compte dans ce contexte; il s'agit surtout de la loi sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux; RS 814.201) et de l'ordonnance sur les déchets (OLED; RS 814.600).

1.3 Objectifs et champ d'application du module

De nombreux rapports d'experts et fiches d'information ont été élaborés dans le cadre du projet ChloroNet et présentés lors de congrès. Une partie de ces documents ont été publiés. Les aspects techniques de ces documents peuvent être consultés dans des études externes et dans d'autres rapports des groupes de travail ChloroNet respectifs. Le présent module «Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés» a pour objectif de réunir cette multitude d'informations ainsi que les connaissances acquises, en faisant référence aux rapports techniques. Les solutions proposées constituent une aide pour la gestion des cas de pollution par des HCC.

1 Aussi appelé tétrachloréthylène ou perchloréthylène

2 Aussi appelé trichloréthylène ou TCE

3 Les produits de dégradation du Per sont le Tri, le Cis (aussi appelé 1,2-dichloréthène, DCE ou 1,2-dichloréthylène) et le chlorure de vinyle (CV, aussi appelé chloréthylène).

Ce module contribue ainsi à uniformiser l'exécution dans le domaine des pollutions aux HCC et à faire respecter les dispositions sur les sites contaminés. Les solutions qui y sont décrites ont été développées spécifiquement pour les HCC et s'appliquent donc exclusivement aux sites pollués par ces substances.

Dans le présent module, on entend par HCC les hydrocarbures chlorés aliphatiques au sens de l'annexe 1 OSites, c'est-à-dire les hydrocarbures halogénés « classiques », généralement volatils (HCHV), y compris le 1,2-dibromoéthane. Il ne traite pas des composés chlorés aromatiques (p. ex. chlorobenzènes, PCB) ni des composés chlorés aliphatiques substitués par d'autres groupes fonctionnels (p. ex. amines).

1.4 Structure du module

Le présent module informe sur la manière de procéder avec un groupe spécifique de substances tout au long du processus de traitement des sites pollués.

Les chapitres qui suivent sont structurés selon la chronologie de l'OSites. Les particularités à prendre en compte dans le cas des pollutions aux HCC sont détaillées pour toutes les étapes de même que pour les diverses sections de l'OSites. Le module comprend les thèmes suivants :

- Section 2 OSites : cadastre des sites pollués
 - **Critères d'inscription au cadastre (délimitation du site)**: description des valeurs qui doivent être dépassées dans les eaux souterraines, l'air interstitiel et la matière solide pour qu'un site soit inscrit au cadastre ou y reste enregistré. Présentation de l'approche pragmatique pour la délimitation du site.
 - **Radiation du cadastre**: description des valeurs qui doivent être respectées dans les eaux souterraines, l'air interstitiel et la matière solide pour qu'un site puisse être radié du cadastre.
 - **Pollution résiduelle à l'extérieur du site**: description de la manière de procéder en cas de pollution résiduelle à l'extérieur du site.
- Section 3 OSites : besoins de surveillance et d'assainissement, investigation préalable
 - **Investigation des sites pollués par des HCC**: de quelles particularités faut-il tenir compte lors de l'investigation des sites pollués par des HCC? Référence est faite au *rapport d'experts concernant l'investigation des sites pollués par des HCC*. La délimitation du site est une condition essentielle pour définir la zone aval (critères pour une inscription au cadastre, voir section 2).
- Section 4 OSites : buts et urgence de l'assainissement, investigation de détail
 - **Charge**: ce chapitre explique comment la charge peut influencer sur l'appréciation des buts et de l'urgence d'un assainissement dans le cadre de l'évaluation des risques.
 - **Essais de pompage intégraux (EPI)**: les EPI sont une méthode d'investigation permettant de caractériser précisément les foyers de pollution et de déterminer la charge polluante. On montre dans quelle mesure la réalisation d'EPI peut être judicieuse.
 - **Analyses isotopiques**: brève description des situations dans lesquelles il peut être utile d'étudier les rapports isotopiques du carbone (C) et du chlore (Cl).
 - **Adaptation des buts d'assainissement**: ce chapitre décrit quand et comment on s'écartera de ce but.
- Section 5 OSites : assainissement
 - **Étude de variantes**: informations sur la méthode de participation structurée d'experts.
 - **Interruption d'un assainissement**: ce chapitre indique les facteurs à prendre en compte pour pouvoir envisager d'interrompre un assainissement.
 - **Prolongation du délai d'assainissement pour les sites pollués au chlorure de vinyle (CV)**: approche pour les sites pollués au CV.
 - **Atteinte du but d'assainissement relatif à un captage**: quand l'objectif « plus de substances constatées dans le captage » est-il rempli?

Le présent document n'appréhende pas tous les thèmes et aspects des sections respectives de l'OSites, mais seulement les thèmes qui soulèvent fréquemment des questions d'ordre pratique et requièrent donc des solutions adaptées. Chaque chapitre commence par une énumération des bases légales et des aides à l'exécution déjà existantes et aussi applicables aux sites pollués par des HCC.

2 Cadastre des sites pollués

2.1 Bases légales

L'art. 32c, al. 2, LPE oblige les cantons à tenir un cadastre des sites pollués accessible au public, c'est-à-dire un registre centralisé officiel des décharges et des autres sites pollués par des déchets. Les principes généraux régissant l'établissement et la mise à jour régulière du cadastre, ainsi que la suppression de l'inscription d'un site pollué au cadastre, sont réglés dans les art. 5 à 6 de l'OSites. À ce sujet, il est fait référence à l'aide à l'exécution de l'OFEV «Établissement du cadastre des sites pollués», 2001. Les sites pollués par des HCC comportent des particularités spécifiques liées d'une part à la délimitation du site et d'autre part à la suppression de l'inscription au cadastre. Les explications qui suivent se limitent donc exclusivement à ces aspects-là.

Un site pollué par des HCC doit être délimité avec un maximum de précision en vue de son inscription au cadastre (voir art. 5, al. 3, let. a, OSites). La délimitation exacte des sites pollués par des HCC relève toutefois souvent du défi: selon l'art. 2, al. 1, OSites, les sites pollués sont des emplacements d'une *étendue limitée* pollués par des déchets. Leur étendue est difficile à définir dans la pratique en raison des propriétés particulières des HCC (p.ex. volatilité, voir *guide des HCC*) (cf. point 2.2 ci-dessous).

L'art. 6, al. 2, OSites règle la *suppression* de l'inscription au cadastre: l'autorité compétente supprime l'inscription d'un site pollué au cadastre si les investigations démontrent qu'il n'est pas pollué par des substances dangereuses pour l'environnement (relevant de la législation sur les sites contaminés) ou si ces substances ont été éliminées. En revanche, les sites pollués au sens de l'art. 2 OSites doivent rester enregistrés au cadastre même s'ils ne nécessitent ni surveillance, ni assainissement (voir 2.5 pour les particularités concernant la radiation des sites pollués par des HCC).

2.2 Principes de délimitation des sites pollués par des HCC

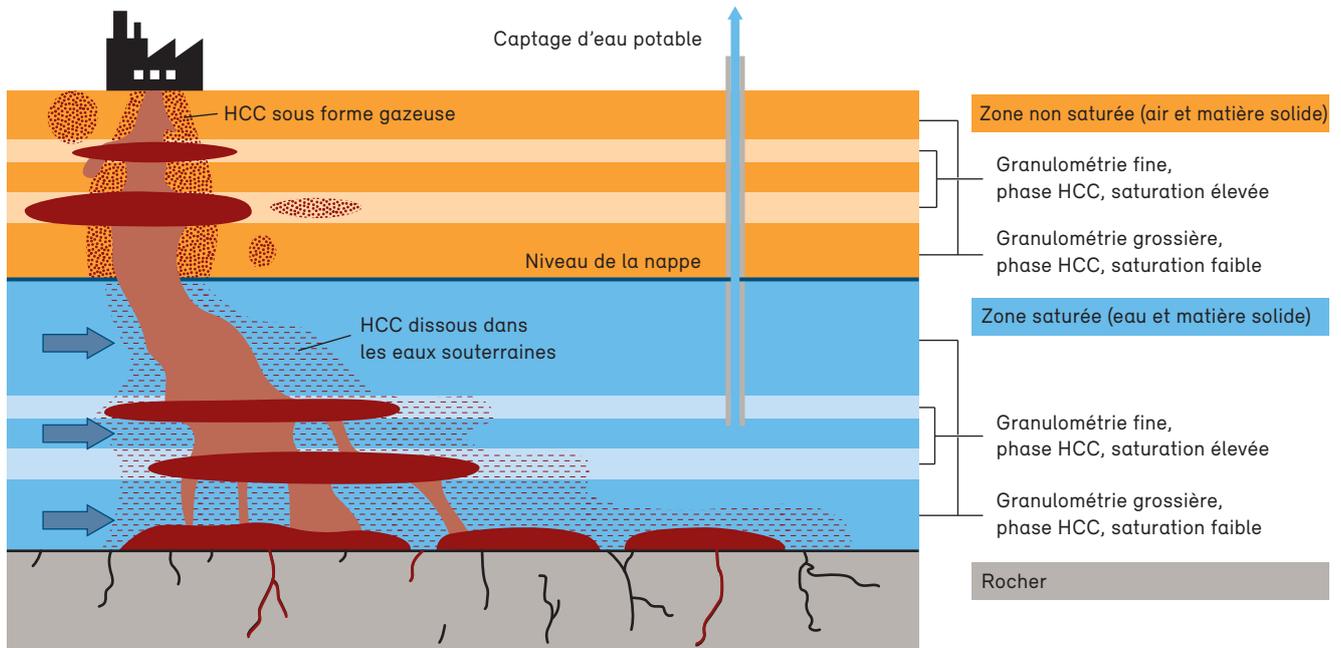
Les sites pollués sont la plupart du temps délimités de manière itérative lors de leur traitement. On introduit dans le cadastre la zone d'utilisation des HCC – ou la parcelle correspondante s'il manque des informations sur la localisation exacte – en se basant dans une première approche sur les informations historiques et les données de la branche. L'inscription est justifiée par le fait que l'utilisation des HCC présente par expérience une probabilité élevée de pollution. Les données concernant l'emplacement et le type d'utilisation des HCC sont ensuite vérifiées et complétées par des recherches documentaires dans le cadre d'une investigation historique (voir 3.2). L'investigation technique (voir 3.3) sert à identifier la présence et l'étendue des pollutions dans le sous-sol, ainsi que leur impact sur l'environnement. Le site est classifié sur la base d'un échantillonnage des eaux souterraines en aval à proximité du site^{4, 5}. Il est donc nécessaire de connaître la délimitation du site pour pouvoir placer judicieusement le ou les points de mesure en aval déterminants pour la classification.

Le schéma de diffusion des HCC dans le sous-sol est cependant très complexe, donc difficile à déterminer en raison des propriétés spécifiques de ces substances et de la structure souvent hétérogène du sous-sol en Suisse. Dans la zone du foyer, les HCC peuvent se trouver sous forme liquide (en phase) ou sous forme gazeuse. L'infiltration est principalement verticale, mais les HCC peuvent aussi se diffuser latéralement en suivant des schémas complexes, surtout dans la zone saturée du sous-sol. Il peut également se former des accumulations de HCC en phase détachées du foyer de pollution (lieu d'infiltration). La figure 1 présente un schéma possible de diffusion des HCC dans le sous-sol.

4 Aide à l'exécution «Prélèvements d'eau souterraine en relation avec les sites pollués» (OFEFP, 2003)

5 Aide à l'exécution «Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués» (OFEV, 2017)

Figure 1
Schéma possible de diffusion des HCC



Selon l'aide à l'exécution sur les prélèvements d'eau souterraine en relation avec les sites pollués⁶, les phases continues de HCC ainsi que les pools isolés de HCC en phase (DNAPL⁷) doivent être attribués au site; leur localisation est toutefois limitée du point de vue technique. À cela s'ajoute le fait que le terme de « phase » n'est pas défini avec précision : les HCC se retrouvent en effet souvent sous forme de microscopiques gouttelettes de phase dissoutes dans l'eau de rétention et en même temps sous forme gazeuse dans l'air interstitiel du sous-sol insaturé. Les transitions entre une saturation résiduelle de ce type et une phase continue sont floues. Au fil des ans, les HCC peuvent en outre se disséminer au-delà du foyer de pollution par transport et diffusion des substances via les eaux souterraines. Du fait de processus de sorption, les HCC se retrouvent souvent sous forme diffuse sur de grandes surfaces pouvant atteindre de nombreuses parcelles.

Dans le cadre de leur traitement, les sites pollués sont habituellement délimités sur la base des valeurs limites applicables à la matière solide pour les matériaux d'ex-

cavation et de percement non pollués selon l'annexe 3, ch. 1, OLED⁸ (on utilisera ici l'abréviation « valeur U »). Si l'on procédait de la même manière avec les sites pollués par des HCC, il en résulterait d'immenses surfaces presque impossibles à gérer. Comme l'aval à proximité du site serait éloigné du foyer de pollution, la dilution dans les eaux souterraines serait telle qu'il n'en résulterait que rarement un besoin d'assainir, même en cas de concentrations élevées dans le foyer et d'émissions importantes de HCC. Si l'on adoptait cependant des valeurs de concentration un peu supérieures aux valeurs U pour délimiter les sites à inscrire au cadastre, par exemple les valeurs B⁹, il en résulterait des surfaces plus petites mais qui n'engloberaient plus l'ensemble de la pollution. Cela présenterait en outre l'inconvénient que ces (faibles) pollutions non recensées ne seraient pas prises en compte dans l'assainissement.

Au vu de cette situation, les critères habituellement appliqués pour la délimitation des sites ne peuvent être utilisés qu'en partie dans le cas des pollutions par des

6 Aide à l'exécution « Prélèvements d'eau souterraine en relation avec les sites pollués » (OFEFP, 2003)

7 En anglais : « dense non-aqueous phase liquid »

8 Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED, RS 814.600)

9 La valeur B correspond aux exigences relatives aux déchets admis dans les décharges de type B selon l'annexe 5, ch. 2, OLED.

HCC. Il a donc fallu développer des critères de délimitation partiellement différents pour ces sites, comme décrit au point 2.3.1. On a d'une part veillé à ce que ces critères reposent sur des méthodes de mesure établies et pour lesquelles il existe si possible déjà des valeurs de référence. D'autre part, les critères ont été choisis de manière à limiter le site aux pollutions relevant de la législation sur les sites contaminés. Cependant, cela engendre des conséquences inévitables. En effet, de faibles pollutions non attribuées au site peuvent apparaître à l'extérieur de cette limite. Le point 2.4 Pollutions résiduelles explique comment gérer cet aspect.

2.3 Procédure de délimitation des sites en vue de leur inscription au cadastre

2.3.1 Critères de délimitation des sites

Les critères de délimitation des sites reposent sur l'analyse de l'air interstitiel et de la matière solide, qui sont des méthodes de mesure simples et établies. Ces méthodes, qui peuvent s'appliquer à différentes profondeurs, ont l'avantage d'être relativement peu coûteuses (surtout les analyses de l'air interstitiel) et tirent parti du fait qu'il existe déjà des valeurs de référence (OLED), du moins en ce qui concerne les analyses de la matière solide¹⁰. Les valeurs chiffrées (tableau 1) ont été déterminées de manière pragmatique sur la base de l'évaluation d'exemples pratiques. Il s'agit de valeurs empiriques qui ont été validées sur de nombreux sites ; elles ne découlent pas de déductions scientifiques.

Tableau 1

Critères de délimitation des sites dans le cas des pollutions aux HCC

Milieu analysé	Critères de délimitation des sites
Matière solide (MS) (Σ 7 HCCV selon annexes 3 et 5 OLED)	
→ Zone insaturée	> 0,1 mg/kg (valeur U)*
→ Zone saturée (y. c. zone de battement)	> 1 mg/kg (valeur B)**
Air interstitiel (AI) (HC halogénés selon l'annexe 2 OSites)	> 1 ml/m ³

* La valeur U (valeur pour les matériaux non pollués) correspond aux exigences relatives aux matériaux d'excavation et de percement selon l'annexe 3, ch. 1, OLED).

** La valeur B correspond aux exigences relatives aux déchets admis dans les décharges de type B selon l'annexe 5, ch. 2, OLED.

L'utilisation de la valeur B comme critère de délimitation pour la matière solide en zone saturée est motivée par des raisons pragmatiques. Elle exige d'accepter la présence possible dans le sous-sol saturé de pollutions situées entre les valeurs U et B, mais non répertoriées dans le cadastre.

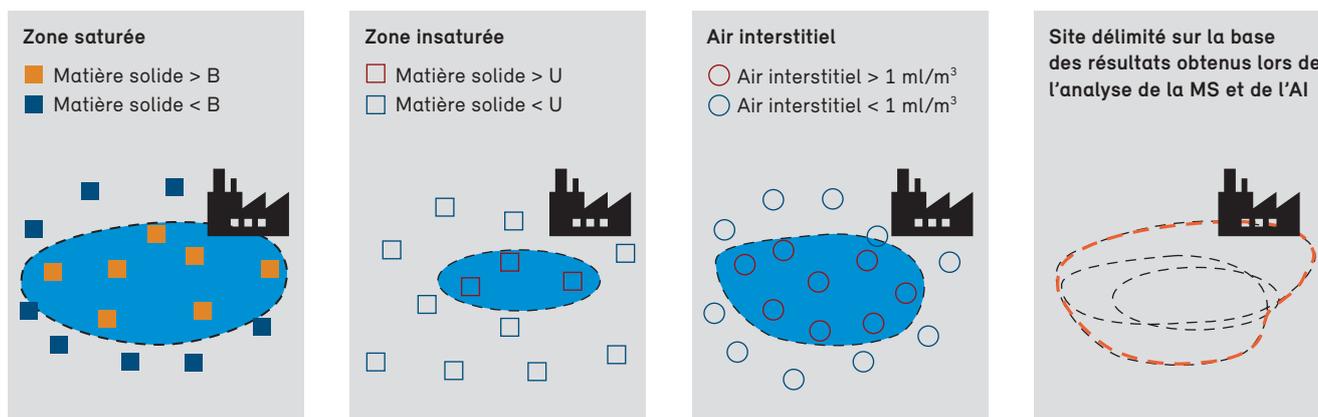
2.3.2 Application des critères

Lorsque l'une des valeurs indiquées dans le tableau 1 est dépassée pour le milieu analysé, le point où elle a été mesurée tombe à l'intérieur du site. Selon le type d'analyse, on obtient donc un périmètre pour la matière solide dans la zone saturée, pour la matière solide dans la zone insaturée et/ou pour l'air interstitiel. Le site est délimité par l'union des divers périmètres obtenus (figure 2).

¹⁰ Le point 3.3 contient des explications et des recommandations concernant les analyses de matière solide dans le cas des pollutions par des HCC.

Figure 2

Application des critères de délimitation des sites



La plausibilité des résultats obtenus doit toujours être vérifiée. Deux questions essentielles se posent :

- Les résultats des investigations sont-ils plausibles entre eux et avec les enseignements de l'investigation historique ?
- Les résultats obtenus sont-ils suffisants (densité des sondages, représentativité des échantillons, éventail d'analyses, etc.) ou faut-il poursuivre les investigations ? Le nombre de mesures et le type de milieu analysé doivent être justifiés de manière plausible.

La concentration en polluant mesurée dans l'eau souterraine en aval du site joue un rôle important pour la vérification de la plausibilité. Si par exemple on ne détecte des teneurs en HCC significatives ni dans les échantillons d'air interstitiel, ni dans les échantillons de matière solide, mais que l'on constate des émissions de HCC relevant de la législation sur les sites contaminés dans les eaux souterraines (différence amont/aval), la plausibilité des résultats d'analyses doit être vérifiée.

2.4 Pollutions résiduelles à l'extérieur du site

La délimitation d'un site conformément aux critères ne permet pas d'obtenir un résultat parfait : une partie de la pollution sera toujours à l'extérieur du site. Il s'agit là, d'une part, de pollution de la matière solide située entre les valeurs U et B dans la zone saturée et, d'autre part, de pollution s'écoulant vers l'aval (panache). Bien que

ces pollutions ne relèvent pas du cadastre, elles peuvent rendre nécessaires des mesures selon la législation sur les déchets ou sur la protection des eaux. À ce titre, il est impératif de respecter le principe fondamental de transparence. Ce principe n'implique certes pas un devoir de documentation, mais il faut veiller à ce qu'une communication reste toujours possible quant aux éventuelles conséquences, limitations, exigences, etc. par rapport à un état connu. Il est donc recommandé de disposer d'une documentation appropriée (p. ex. carte des eaux souterraines).

Le rapport d'experts concernant la gestion des pollutions résiduelles par des HCC fournit des informations complémentaires.

2.5 Radiation du cadastre des sites pollués

Les critères à remplir pour qu'un site puisse être radié du cadastre conformément à l'art. 6, al. 2, OSites sont étroitement liés aux critères de délimitation des sites. Les critères de délimitation s'appliquent en principe aussi à la radiation du cadastre, autant en ce qui concerne la matière solide que l'air interstitiel (tableau 2). Dans le cas d'une radiation du cadastre, il est toutefois essentiel d'effectuer en plus un échantillonnage des eaux souterraines en aval à proximité du site. Cela d'autant plus que le prélèvement des échantillons de matière solide et d'air interstitiel comporte d'inévitables incertitudes.

La question de savoir quels sont les critères à respecter pour une radiation du cadastre peut se poser autant au terme de l'investigation préalable qu'après l'assainissement.

2.5.1 Critères de radiation du cadastre Critères pour les HCC, à l'exception du CV

Les critères concernant la matière solide et l'air interstitiel sont basés sur les critères de délimitation des sites (voir tab. 1). Il faut en outre que le critère relatif aux eaux souterraines soit rempli, c'est-à-dire que la concentration en HCC provenant du site (différence entre amont et aval) en aval à proximité du site soit inférieure à 1 µg/l par type de HCC (inférieure à 0,25 µg/l pour le CV). Les concentrations doivent également respecter le critère relatif aux captages d'eaux souterraines destinés à l'usage public (ci-après nommés captages d'eaux souterraines), selon lequel on ne doit pas déceler de substances provenant du site en concentrations supérieures au seuil de quantification dans un captage d'eaux souterraines. L'inscription du site au cadastre ne peut être supprimée que si toutes les valeurs du tableau 2 sont respectées cumulativement.

Si le critère relatif aux eaux souterraines est dépassé, le site reste inscrit au cadastre. En règle générale, il faut alors poursuivre les investigations, car les connaissances acquises au stade de l'investigation préalable ne suffisent généralement pas pour exclure la présence de sources de pollutions encore inconnues.

On ne peut se passer d'échantillons d'eau souterraine que dans des cas exceptionnels, en particulier lorsqu'un prélèvement n'est pas possible (l'eau souterraine n'afflue pas au point de mesure malgré une attente prolongée) ou lorsque l'investissement nécessaire pour l'échantillonnage est disproportionné par rapport à l'importance des soupçons (p. ex. aquifère très profond). Dans ce cas, les exigences concernant les échantillons d'air interstitiel et de matière solide ainsi que la plausibilisation des résultats à l'aide de l'investigation historique sont plus strictes. L'air interstitiel doit en particulier respecter la valeur de 0,1 ml/m³ (au lieu de 1 ml/m³ quand le prélèvement d'eau souterraine est possible).

Tableau 2
Critères pour la radiation du cadastre

Milieu analysé	Critères de radiation du cadastre	
Matière solide (MS) (Σ 7 HCCV selon les annexes 3 et 5, OLED)		
→ Zone insaturée	< 0,1 mg/kg (valeur U)*	
→ Zone saturée (y. c. zone de battement)	< 1 mg/kg (valeur B)**	
Air interstitiel (AI) (HC halogénés selon l'annexe 2 OSites)	< 0,1 ml/m ³ (si aucune analyse d'eaux souterraines) < 1 ml/m ³ (si le critère des eaux souterraines est satisfait)	
Eaux souterraines (différence entre l'amont et l'aval, par type de substance)	< 1 µg/l pour les HCC, à l'exception du CV	< 0,25 µg/l pour le CV
Captage d'eaux souterraines	Pas de besoin d'assainissement selon la législation sur les sites contaminés : pas de HCC provenant du site en concentrations supérieures au seuil de quantification	

* La valeur U (valeur pour les matériaux non pollués) correspond aux exigences pour les matériaux d'excavation et de percement non pollués selon l'annexe 3, ch. 1, OLED.

** La valeur B correspond aux exigences relatives aux déchets admis en décharges de type B selon l'annexe 5, ch. 2, OLED.

Lorsque des eaux souterraines, prépondérantes dans l'évaluation, sont analysées, il faut prouver de manière plausible que le point d'échantillonnage se trouve en aval à proximité du site qu'il est prévu de radier, et qu'il est représentatif de ce secteur. Cela demande une bonne connaissance des limites du site et des conditions hydrogéologiques locales (direction d'écoulement, épaisseur de l'aquifère, etc.).

Toutes les données concernant le site doivent être plausibilisées entre elles et avec les résultats de l'investigation historique avant sa radiation. Il faut également démontrer que les résultats obtenus sont suffisants (densité des sondages, représentativité des échantillons, éventail d'analyses, etc.) et indiquer s'il est nécessaire de poursuivre les investigations.

Cas particulier du CV

Dans la pratique, le CV se distingue des autres HCC en raison de ses propriétés particulières. On rencontre très rarement le CV sous la forme de polluant primaire ; en conditions anaérobies, il peut apparaître comme produit de dégradation d'autres HCC¹¹. Le CV est extrêmement volatil et sa toxicité lui vaut une valeur de concentration très basse (valeur K), fixée à 0,5 µg/l dans l'annexe 1 OSites.

Comme la valeur K de 0,5 µg/l attribuée au CV est inférieure au critère du tableau 2 pour les eaux souterraines (1 µg/l par type de HCC), même les sites nécessitant un assainissement pourraient être radiés du cadastre en application de ces critères. Les sites pollués au CV sont donc soumis à d'autres critères concernant l'aval à proximité du site.

L'inscription d'un site pollué par du CV peut être supprimée lorsque les deux conditions suivantes sont remplies cumulativement :

- la concentration en CV en aval à proximité du site est durablement inférieure à 0,25 µg/l (= ½-valeur K) et
- les autres critères de radiation relatifs aux HCC sont satisfaits conformément au tableau 2 (matière solide dans la zone saturée, matière solide dans la zone insaturée, air interstitiel et captages d'eaux souterraines).

2.5.2 Critères de radiation du cadastre après réalisation des mesures d'assainissement

Après réalisation des mesures d'assainissement, les émissions provenant du site sont généralement assez bien connues et on dispose souvent de données collectées pendant la phase de surveillance. Les critères de radiation des sites pollués par des HCC sont donc moins sévères qu'au stade de l'investigation préalable ou de détail.

On peut donc s'écarter au cas par cas du critère qualitatif concernant les eaux souterraines (différence entre amont et aval < 1 µg/l par type de HCC) si les conditions suivantes sont remplies **cumulativement** :

- Aval à proximité du site : après les mesures d'assainissement, aucune autre mesure n'est nécessaire selon la législation sur les sites contaminés. Cela signifie que les concentrations dans les eaux souterraines sont inférieures aux prescriptions de l'art. 9, al. 1, let. b ou c, et de l'art. 10, al. 1, let. b, OSites (< besoin de surveillance), et présentent une tendance constante ou à la baisse.
- L'utilisation des captages d'eaux souterraines éventuellement concernés doit être garantie. Cela signifie que les concentrations en HCC provenant du site sont inférieures au seuil de quantification ou inférieures à la valeur de 1 µg/l (adaptation du but d'assainissement¹²) par type de HCC en application de l'art. 18 en relation avec l'art. 15, al. 2, OSites.
- Le type, l'emplacement et la quantité des polluants étaient connus avec suffisamment de précision avant l'assainissement, et les données étaient plausibles.
- Les mesures d'assainissement réalisées conformément à l'OSites étaient appropriées (méthode, lieu d'intervention, etc.) et correspondaient à l'état de la technique.
- Les autres critères du tableau 2 concernant la matière solide en zone saturée, la matière solide en zone insaturée et l'air interstitiel sont satisfaits.

En règle générale, les critères concernant l'aval à proximité du site et les captages d'eaux souterraines (voir aussi 5.5) ne peuvent être définitivement évalués qu'après avoir effectué une surveillance adéquate dans le cadre du contrôle des résultats de l'assainissement.

Lors des travaux de décontamination, il faut tenir compte du fait que le critère relatif aux eaux souterraines de < 1 µg/l par type de substance (différences de concentration entre amont et aval) peut aussi être dépassé lorsque les concentrations dans la matière solide sont inférieures à la valeur maximale de 1 mg/kg (valeur B) prescrite pour la zone saturée. On peut améliorer considérablement les chances de remplir les exigences spécifiques aux eaux souterraines en fixant volontairement une valeur cible < 0,1 mg/kg (valeur U) pour le sous-sol saturé également.

11 Voir l'annexe A pour plus d'informations sur le CV.

12 Concernant l'adaptation des buts d'assainissement, voir 4.5.

Cas particulier du CV

Les critères de radiation des sites pollués au CV diffèrent des critères pour les autres HCC par le seul fait que la concentration en CV en aval à proximité du site doit être durablement inférieure à 0,25 µg/l (½-valeur de concentration selon OSites) (voir premier point sous 2.5.2). Tous les autres critères sont identiques et doivent être remplis cumulativement.

Le critère de radiation concernant l'aval à proximité du site sous-entend que même les sites nécessitant une surveillance peuvent être radiés du cadastre (si les autres critères sont également satisfaits). Il y a rupture du système, car les sites pollués par les autres HCC ne peuvent être radiés que si aucune autre mesure n'est nécessaire selon la législation sur les sites contaminés. Cette dérogation pour le CV est cependant raisonnable et adaptée à la pratique, car la valeur de 0,05 µg/l (qui correspond au 10 % de la valeur K) est beaucoup trop faible et proche du seuil de quantification.

3 Investigation préalable

Les critères déterminant si un site nécessite une surveillance ou un assainissement sont fixés dans la section 3 OSites (art. 7 à 13) pour les différents biens à protéger.

L'investigation et l'évaluation des sites pollués par des HCC sont aussi traitées dans les autres aides à l'exécution de l'OFEV. En raison des propriétés spécifiques des HCC, il faut toutefois tenir compte de certaines particularités lors de l'investigation des sites pollués par ces substances. Le *rapport d'experts concernant l'investigation des sites pollués par des HCC* (oct. 2016) donne un aperçu détaillé des aspects techniques.

3.1 Bases légales

L'investigation préalable au sens des art. 7 ss OSites doit permettre d'identifier les données nécessaires à l'autorité pour apprécier les besoins de surveillance ou d'assainissement. Cette étape comprend une investigation historique et une investigation technique.

L'investigation historique sert à identifier les causes probables de la pollution du site, en particulier les événements ainsi que l'évolution des activités sur le site dans l'espace et le temps, de même que les procédés au cours desquels des substances dangereuses pour l'environnement ont été utilisées sur le site (art. 7, al. 2, OSites). Un cahier des charges mentionnant l'objet et l'ampleur de l'investigation technique ainsi que les méthodes utilisées est établi sur la base de l'investigation historique. Il est soumis à l'autorité pour avis. L'investigation technique sert ensuite à identifier le type et la quantité des substances présentes sur le site, leur possibilité de dissémination ainsi que l'importance des domaines de l'environnement concernés (art. 7, al. 4, OSites).

Sur la base des résultats de l'investigation préalable, l'autorité examine si le site pollué nécessite une surveillance ou un assainissement (et doit donc être considéré comme un site contaminé au sens de l'OSites), ou s'il ne nécessite ni l'une ni l'autre, et adapte l'inscription au cadastre en conséquence (art. 8 OSites). Les sites pollués qui ne nécessitent ni surveillance ni assainissement restent ins-

crits au cadastre (art. 6, al. 2, let. a, OSites a contrario). Si l'investigation préalable démontre que le site n'est pas pollué par des substances dangereuses pour l'environnement (relevant de la législation sur les sites contaminés), l'inscription au cadastre est alors supprimée (art. 6, al. 2, let. a, OSites). À ce propos, voir également 2.5.1.

3.2 Investigation historique

Les principales bases de l'investigation historique des sites pollués par des HCC sont mentionnées dans le rapport d'experts cité plus haut, et les applications possibles des HCC dans diverses branches d'activité et processus isolés sont décrites dans le *guide des HCC*, sous 1.2. Les deux domaines d'application les plus fréquents des HCC sont le nettoyage à sec et le dégraissage industriel.

Pour les investigations historiques des sites pollués par des HCC, le fait que ceux-ci puissent facilement pénétrer les sols en béton revêt une importance particulière. Une question clé est donc de savoir si l'étanchéité était suffisante pendant toute la durée d'utilisation des HCC. Par expérience, seule une cuve en acier inoxydable peut assurer une étanchéité suffisante, même si là aussi des quantités significatives de HCC sous forme de vapeur peuvent passer par-dessus le bord de la cuve. Il est démontré que dans la grande majorité des cas, les revêtements de protection sont à considérer comme insuffisamment étanches.

Pour cette raison, il faut en particulier tenir compte des gouttes perdues, des fuites, de l'air vicié, des eaux usées, des canalisations, etc. comme voies de dissémination possibles. Ce faisant, il est nécessaire de considérer l'ensemble des flux de substances générés sur la zone par l'utilisation des HCC, depuis leur livraison jusqu'à leur transbordement, stockage, utilisation et élimination (p. ex. via les canalisations), et d'établir un plan des surfaces à risque sur lesquelles des pollutions potentielles peuvent survenir.

L'expérience montre que la probabilité et l'ampleur d'une pollution par des HCC ne sont pas forcément corrélées à

la quantité de HCC utilisée dans l'exploitation. En cas de pollution par des HCC, aucun critère basé sur les quantités utilisées ne peut donc être invoqué pour définir un cas mineur. Lorsque les quantités de HCC utilisées sont plus élevées, il y a par contre un rapport certain entre l'utilisation massive de ces substances et les cas de pollution importants.

3.3 Investigation technique

Le cahier des charges sur lequel l'autorité prend en général position avant de lancer l'investigation technique est établi sur la base de l'investigation historique. L'aide à l'exécution « *Cahier des charges pour l'investigation technique des sites pollués* »¹³ contient des informations à ce sujet et s'applique aussi aux HCC. Comme cela a déjà été mentionné sous 3.2, il est particulièrement important dans le cas des HCC que le cahier des charges couvre toutes les surfaces potentiellement polluées (surfaces de livraison, de transbordement et de stockage, zones d'utilisation et voies d'élimination p. ex. via les canalisations).

L'objectif de l'investigation technique est de classer le site conformément à l'art. 8 OSites; une classification fiable est en règle générale seulement possible sur la base d'un échantillonnage des eaux souterraines. Cela signifie que l'évaluation des sites pollués par des HCC se base essentiellement sur l'analyse des eaux souterraines. Les principes sont exposés dans différentes aides à l'exécution⁵. Comme la classification requiert un échantillonnage des eaux souterraines en aval à proximité du site, on accorde une très grande importance à la détermination du foyer de pollution et à la délimitation du site (cf. 2.2 et 2.3).

Différentes méthodes d'investigation peuvent être utilisées pour la détermination du foyer de pollution et la délimitation du site. On recourt le plus souvent à des analyses de l'air interstitiel¹⁴ et à des analyses de la matière solide, car elles sont efficaces et fournissent des valeurs adéquates pour les critères relatifs au site (cf. 2.2 et

2.3). Les investigations utilisant le système Membrane Interface Probe (MIP) fournissent aussi des informations précieuses sur la distribution des polluants, tout particulièrement dans les cas complexes et pour les sous-sols pénétrables. Les méthodes d'investigation adaptées à chaque site spécifique doivent être déterminées en fonction du type et de la localisation de la source de HCC, ainsi que du modèle hydrogéologique. Concernant la stratégie d'échantillonnage, il convient de se référer au *rapport d'experts concernant l'investigation des sites pollués par des HCC*, point 7.1.

En raison de la volatilité des HCC et des pertes potentielles qui en résultent lors du prélèvement des échantillons, du transport et de l'analyse, les résultats quantitatifs des analyses de la matière solide sont entachés de certaines incertitudes. Cela concerne notamment les HCC très volatils comme le Tri (pression de vapeur environ 3 fois supérieure à celle de l'eau), le Cis (pression de vapeur environ 9 fois supérieure à celle de l'eau) ou le CV (pression de vapeur environ 126 fois supérieure à celle de l'eau). En revanche, le Per, HCC de loin le plus fréquent, est environ 40 % moins volatil que l'eau et donc moins problématique du point de vue de l'évaporation. Les pertes peuvent être réduites au minimum à condition de tenir compte des recommandations de l'annexe 9 et du point 7.3 du rapport d'experts concernant l'investigation des sites pollués par des HCC relatives au prélèvement, au transport et à l'analyse des échantillons de matière solide. L'application de ces recommandations permet en général d'obtenir des résultats utilisables, en particulier pour le Per.

Dans le cas des pollutions par des HCC, il est pratiquement impossible de remplir une colonne de lixiviation sans perte de HCC lorsqu'on procède à un essai de lixiviation suivant les « *Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués* »⁵. Les tests de lixiviation fournissent donc au mieux des informations qualitatives, à savoir des valeurs minimales de pollution aux HCC. Les essais de lixiviation sont de toute manière superflus dans la plupart des cas, car il est généralement admis que les HCC sont aisément lixiviables.

En appliquant les méthodes d'analyses reconnues par l'OFEV⁵, les laboratoires d'analyse garantissent que la

¹³ Cahier des charges pour l'investigation technique des sites pollués (OFEV, 2000)

¹⁴ Module « Air interstitiel – Prélèvement d'échantillons et analyse » (OFEV, 2015) de l'aide à l'exécution « Investigation de sites pollués »

préparation et l'analyse des échantillons n'induisent que des erreurs minimales et inévitables dans les résultats. Ils doivent impérativement être accrédités selon la norme ISO/CEI 17025 pour pouvoir travailler dans le cadre des investigations des sites pollués par des HCC.

Les imprécisions lors du prélèvement d'échantillons et de l'analyse des HCC sont inévitables, mais peuvent être réduites au minimum. Elles doivent être prises en compte lors de l'interprétation des valeurs mesurées. Lors de l'échantillonnage, une imprécision peut par exemple résulter d'une propagation de HCC ou d'un échauffement des échantillons (carottage).

Si les pertes peuvent atteindre jusqu'à 100 % pour les échantillons de matière solide en cas d'échantillonnage inadéquat, les erreurs dues au prélèvement des échantillons d'eau sont estimées à quelque 20 % si les prescriptions de *l'aide à l'exécution concernant les méthodes d'analyse* sont respectées.

Dans le cas des échantillons aqueux ou solides renfermant des HCC, l'incertitude déterminée lors d'essais interlaboratoires est de l'ordre de 25 % à 40 %.

Ces imprécisions et incertitudes peuvent être réduites et relativisées en réalisant plusieurs analyses, ce qui permet de valider les résultats et d'obtenir une vision globale cohérente.

4 Investigation de détail

Si un site est classé comme nécessitant un assainissement au terme de l'investigation technique, il doit être soumis à une investigation de détail. Les données suivantes énumérées dans l'art. 14 OSites sont rassemblées dans le cadre de l'investigation de détail et serviront de base pour l'évaluation des risques et l'assainissement ultérieur :

- a) type, emplacement, quantité et concentration des substances dangereuses pour l'environnement présentes sur le site pollué ;
- b) type des atteintes à l'environnement effectives et possibles, charge et évolution de ces atteintes dans le temps ;
- c) emplacement et importance des domaines environnementaux menacés.

Ces données, qui doivent déjà avoir été collectées au moins de manière sommaire lors de l'investigation préalable, doivent être vérifiées et affinées durant l'investigation de détail. La répartition des polluants dans le sous-sol (en particulier l'emplacement exact du ou des foyers) est déterminante pour le choix ultérieur de la ou des méthodes d'assainissement et pour la délimitation du site. La délimitation pourra être modifiée sur la base des informations qui viendront s'ajouter au fil de l'investigation (adaptation itérative des limites du site). Ces modifications peuvent à leur tour influencer l'emplacement des points de mesure en aval ainsi que la classification du site (voir art. 14, al. 2, OSites).

On accorde en outre une grande importance à l'identification du panache (HCC dissous dans l'eau souterraine) s'échappant du site, en tenant compte des biens à protéger concernés et pour évaluer si des captages d'eau souterraine sont éventuellement concernés.

On utilise en général les mêmes méthodes que lors de l'investigation préalable. Des investigations particulières peuvent néanmoins parfois se révéler judicieuses. Ce module se penche donc sur deux méthodes exigeantes que sont les essais de pompage intégraux (EPI) et les analyses isotopiques. Ces dernières sont spécialement bien adaptées pour étudier le schéma de propagation

des HCC (p. ex. position du panache) ou pour attribuer les pollutions des eaux souterraines par des HCC aux différents foyers de pollution.

4.1 Bases légales

Les données à identifier dans le cadre de l'investigation de détail et énumérées explicitement dans l'art. 14, al. 1, let. a à c, OSites constituent la base de décision nécessaire à l'autorité pour définir les buts et l'urgence de l'assainissement. Si les résultats de l'investigation de détail divergent fortement de ceux de l'investigation préalable, l'autorité réexamine si le site doit être assaini ou non selon les art. 9 à 12 (art. 14, al. 2, OSites). Les données concernant les buts et l'urgence de l'assainissement doivent ensuite être introduites dans le cadastre des sites pollués (art. 6, al. 1, let. b, OSites).

Selon l'art. 15, al. 1, OSites, l'assainissement a pour *but* d'éliminer les atteintes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes, qui ont été à l'origine des besoins d'assainissement. Les art. 9 à 12 définissent plus précisément dans quels cas un tel assainissement est nécessaire.

Lors d'un assainissement visant à protéger les eaux souterraines ou les eaux de surface, on s'écartera de ce but si les conditions suivantes sont remplies (art. 15, al. 2 et 3, OSites).

- Premièrement, le fait de s'écarter du véritable but d'assainissement (élimination des atteintes ou des dangers concrets d'apparition de telles atteintes) réduit globalement la pollution de l'environnement (let. a).
- La mise en œuvre des mesures pour atteindre le but d'assainissement impliquerait des coûts disproportionnés (let. b).
- Finalement, l'utilisation des eaux souterraines situées en secteur A_U de protection des eaux est garantie ou les eaux de surface (éventuellement en contact avec les eaux souterraines à l'extérieur du secteur A_U de protection des eaux) satisfont aux exigences qualitatives de la législation sur la protection des eaux (let. c).

C'est uniquement après avoir conclu l'étude de variantes et élaboré le projet d'assainissement que l'on pourra évaluer en toute connaissance de cause si les conditions pour s'écarter du but de l'assainissement selon l'art. 15, al. 2 et 3, OSites sont réunies.

Pour évaluer l'urgence de l'assainissement, on se base avant tout sur le potentiel de danger que constitue le site pollué; concrètement, il s'agit de son potentiel de pollution (type, emplacement, quantité et concentration des polluants), de son potentiel de dissémination (type, charge et évolution des flux de polluants dans le temps) ainsi que de l'emplacement et de l'importance des domaines de l'environnement menacés (art. 14, al. 1, let. a à c, OSites). Les assainissements sont *particulièrement urgents* lorsque les substances dangereuses entravent ou menacent directement une utilisation existante, par exemple un captage d'eaux souterraines exploité (art. 15, al. 4, OSites).

4.2 Considérations concernant la charge

La charge est considérée comme un critère important pour l'évaluation des pollutions par des HCC dans le cadre de l'investigation de détail (voir art. 14, al. 1, let. b, OSites). Les considérations concernant la charge peuvent aussi constituer une base, en plus des autres critères, pour évaluer si les conditions permettant de s'écarter du but d'assainissement selon l'art. 15, al. 2 et 3, let. a, OSites sont remplies (voir 4.5 à ce sujet).

La charge est une valeur caractéristique qui intervient dans l'évaluation des risques; elle contribue donc de manière importante à l'évaluation de l'urgence de l'assainissement. Les considérations concernant la charge contribuent accessoirement aussi à:

- une meilleure compréhension du site,
- l'établissement de priorités en présence de plusieurs foyers de pollution,
- la détermination des mesures nécessaires,
- l'évaluation des résultats de l'assainissement,
- l'évaluation d'une interruption d'assainissement (voir également 5.3 à ce sujet).

La charge n'intervient pas dans la classification du site; à cet effet, seules les valeurs de concentration de l'OSites sont déterminantes.

Définition et bases

La charge en HCC liée à un site pollué est définie comme étant la quantité de HCC [g ou kg] entraînée par les eaux souterraines à partir de ce site par unité de temps [j ou a]. Elle s'exprime comme suit:

$$\text{Charge} = K \times i \times A \times c$$

Avec:

K = perméabilité hydraulique ou conductivité hydraulique [m/s]

i = pente ou gradient hydraulique [-]

A = section transversale du panache de pollution dans la section de contrôle [m²]

c = concentration moyenne [g/m³]

Les principaux aspects techniques pour la détermination de la charge (paramètres, emplacement de la section de panache considérée, stratégie d'échantillonnage) sont mentionnés dans le *rapport d'experts Charge*¹⁵.

Solution envisagée pour évaluer la charge

Un modèle pragmatique a été développé dans le cadre de la plateforme ChloroNet comme outil d'aide à l'évaluation de l'urgence d'un assainissement. Outre la charge, ce modèle tient compte de l'impact des émissions polluantes et de l'importance du bien à protéger.

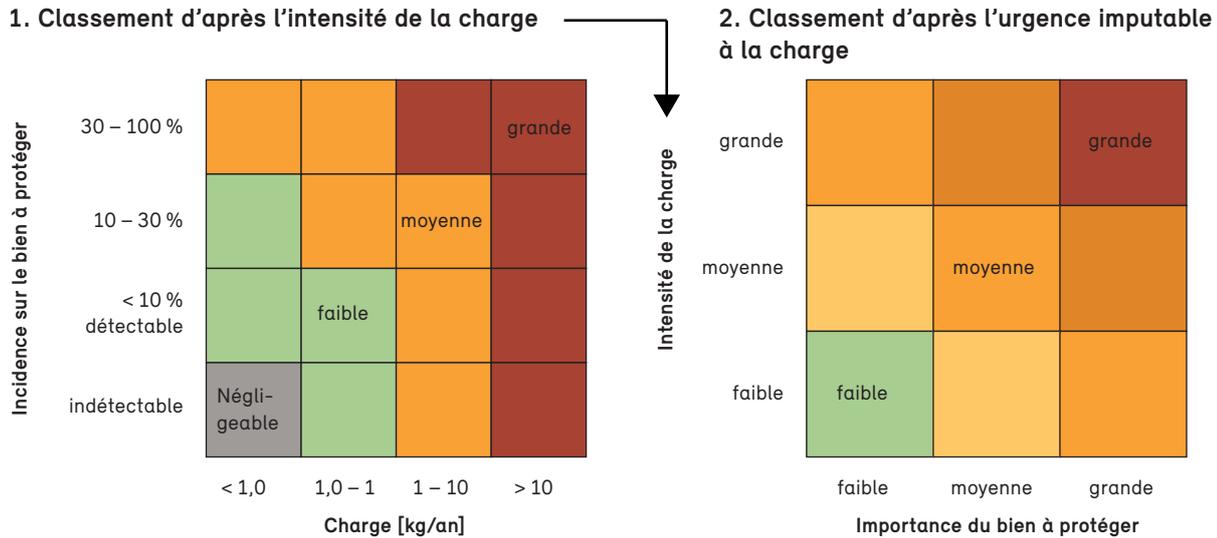
Le modèle préconisé comprend deux étapes:

- a) l'intensité de la charge polluante est déterminée à partir d'une estimation de l'ampleur de la charge et de son incidence sur le bien à protéger;
- b) la combinaison de l'intensité de la charge polluante et de l'importance du bien à protéger permet de classer sommairement l'urgence d'un assainissement liée à la charge.

¹⁵ Application de considérations sur la charge aux sites pollués par des hydrocarbures chlorés (sur mandat de l'OFEV, octobre 2014)

Figure 3

Illustration du modèle en deux étapes appliqué pour évaluer l'urgence d'un assainissement liée à la charge



La solution envisagée ne vise pas un classement strict du site, mais un classement sommaire basé sur la charge. Elle doit laisser une certaine marge de manœuvre pour les évaluations qui font intervenir des facteurs supplémentaires.

Critère « charge »

La charge transitant par une section de panache doit être déterminée en aval à proximité du site.

La charge est subdivisée en quatre ordres de grandeur : < 0,1 kg/an, 0,1-1,0 kg/an, 1,0-10 kg/an et > 10 kg/an. Cette différenciation, jugée pertinente pour traiter la somme des HCC typiquement utilisés, le Per et le Tri, est applicable à la plupart des sites pollués par des HCC. Il y a lieu de subdiviser différemment la charge des autres substances toxiques importantes, comme le CV, en fonction de leur pertinence.

Les ordres de grandeur de la charge doivent tenir compte de l'imprécision usuelle de sa détermination au stade de l'investigation de détail. Lorsque l'erreur estimée affectant la charge dépasse ces ordres de grandeur, les données disponibles sont insuffisantes pour appliquer la solution envisagée ici.

Critère « incidence sur le bien à protéger »

Le critère « incidence sur le bien à protéger » décrit la part de la pollution imputable au site rapportée à l'ensemble de la pollution (y. c. la pollution provenant d'autres sites ou sources) affectant le bien à protéger. La pollution peut être exprimée en termes de charge et/ou de concentration.

Le bien à protéger et le point de référence à considérer peuvent varier. Ce dernier sera par exemple une section de contrôle définie à l'intérieur de l'aquifère touché ou un captage d'eaux souterraines situé à distance en aval du site. Il peut aussi arriver que l'on considère des eaux de surface recevant des eaux souterraines polluées exfiltrées. Lorsque plusieurs points de référence sont considérés, c'est le plus défavorable qui est déterminant pour l'évaluation globale.

L'incidence sur le bien à protéger est un paramètre difficile à déterminer. Pour l'appréhender précisément, il faut généralement réaliser de nombreux forages, des modélisations, des essais de traçage et/ou des analyses isotopiques, etc. Mais des estimations sommaires basées sur la connaissance des lieux suffisent habituellement pour assigner la charge à l'une des catégories suivantes :

- incidence indétectable
- < 10 % (incidence détectable mais très marginale)
- 10 %-30 % (incidence marginale)
- 30 %-100 % (incidence significative à totale)

L'évaluation de ce critère se base sur la réflexion suivante : lorsque le site considéré est le seul émetteur de polluant dans le bien à protéger, son incidence est de 100 % et il est l'unique responsable de la mise en danger éventuelle du bien à protéger. L'assainissement du site résoudrait donc entièrement le problème affectant ce bien.

Critère « importance du bien à protéger »

Le critère « importance du bien à protéger » recouvre différentes caractéristiques de ce bien qu'il y a lieu de définir au cas par cas. Outre la taille et la qualité d'un aquifère, la productivité d'un captage et son importance pour l'approvisionnement local ou régional en eau figurent notamment parmi les caractéristiques à prendre en compte. À défaut de paramètre fixe, seule une différenciation sommaire en importance faible, moyenne ou grande – qu'il y a lieu de justifier – peut être opérée.

Échelonnement du modèle d'évaluation

L'échelonnement du modèle d'évaluation décrit ci-dessus a été choisi graduel, principalement dans la deuxième étape (deuxième matrice). Il tient ainsi compte du fait que les critères « incidence sur le bien à protéger » et « importance du bien à protéger » ne sont qu'estimés.

L'échelonnement quelque peu asymétrique préconisé dans la première étape découle des réflexions suivantes. D'une part, il vise à éviter qu'une charge faible à très faible génère une intensité forte seulement parce qu'elle proviendrait d'un seul site. Lorsque l'intensité est négligeable, l'assainissement ne revêt aucun caractère d'urgence. D'autre part, une charge supérieure à 10 kilos de HCC par an génère une intensité forte quelle que soit son incidence sur le bien à protéger. Il s'agit bien sûr d'une évaluation stratégique, exclusivement focalisée sur le site pollué lui-même.

Des exemples d'application ainsi que de plus amples informations sur cette approche de solution sont disponibles dans le *rapport d'experts Charge*¹⁶.

Exigences minimales

La solution envisagée ne peut être appliquée que si elle satisfait à chacune des conditions suivantes.

- La qualité des données utilisées est suffisante :
 - les données nécessaires aux calculs (données brutes) sont disponibles et plausibles ;
 - l'analyse des erreurs affectant ces données est plausible et les erreurs restent compatibles avec un classement sommaire.
- Le panache de pollution n'est pas en expansion, il est stationnaire ou en cours de disparition.
- La solution envisagée s'applique aux polluants provenant de la source de pollution considérée (p. ex. Per ou Tri). Leurs produits de dégradation ne sont pas pris en compte. Lorsqu'il y en a en quantités importantes, ils doivent faire l'objet d'une étude séparée.
- La pérennité de l'exploitation – actuelle ou prévue – des captages d'eaux souterraines situés en aval du site doit être garantie. Dans le cas contraire, il faudra prendre de nouvelles mesures.

4.3 Réalisation d'essais de pompage intégraux

Les essais de pompage intégraux (EPI) peuvent apporter une aide précieuse lors de l'investigation de détail, en particulier pour la détermination de la charge. Un groupe de travail ChloroNet a donc été chargé d'examiner et d'évaluer les possibilités d'utilisation des EPI. Des informations détaillées sont disponibles dans le *rapport d'experts EPI*¹⁷.

Définition

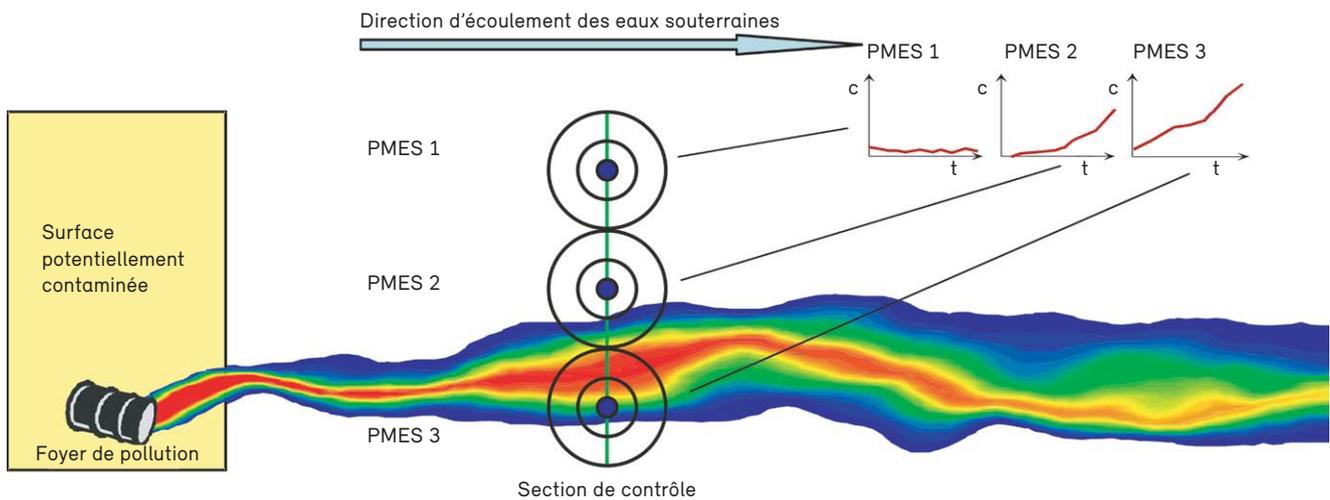
Un EPI est un essai hydrogéologique réalisé sur le terrain dans le but de déterminer la charge polluante transitant par une section de contrôle d'un aquifère (voir fig. 4).

¹⁶ ChloroNet - Rapport d'experts Charge (octobre 2014)

¹⁷ Réalisation d'essais de pompage intégraux (EPI) en Suisse, rapport d'experts du groupe de projet ChloroNet EPI (sur mandat de l'OFEV, novembre 2016)

Figure 4

Principe d'un essai de pompage intégral avec trois points de mesure des eaux souterraines (PMES) placés le long d'une section de contrôle (d'après Teutsch et al., 2000)



En plus du relevé de la charge polluante, les EPI permettent de déterminer quantitativement la répartition des concentrations (immissions) le long de la section de contrôle et de faire des déductions sur les panaches et les foyers de pollution.

Bilan et recommandations

Les essais pilotes effectués dans le cadre de ChloroNet ont montré que la réalisation d'EPI pose certes des exigences spécialisées élevées et représente un investissement considérable, mais qu'ils peuvent en contrepartie fournir des résultats robustes et fiables. Malgré certaines restrictions liées à l'homogénéité de l'aquifère, les EPI ont permis de calculer les emplacements des panaches, la répartition des concentrations et les charges de manière plausible. Les résultats des essais pilotes étaient cohérents avec les résultats déterminés indépendamment lors d'investigations antérieures.

4.4 Analyses isotopiques

Dans les cas plus complexes, les analyses isotopiques peuvent permettre de combler des lacunes spécifiques pour lesquelles les autres méthodes ont échoué. Cette méthode a été vérifiée sur la base d'exemples de cas dans le cadre de ChloroNet.

Les isotopes sont des atomes dont les noyaux contiennent le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différent. Ils possèdent le même numéro atomique, représentent le même élément, mais leurs masses atomiques diffèrent. C'est sur cette propriété que se basent les analyses isotopiques. Les isotopes stables ne sont pas radioactifs, c'est-à-dire qu'ils ne se désintègrent pas ou ont une très longue durée de vie. Le carbone (C) a deux isotopes stables présents en différentes proportions dans l'environnement : le ^{12}C (98,89 %) et le ^{13}C (1,11 %).

Les analyses isotopiques utilisent la spectrométrie de masse pour déterminer la proportion des isotopes d'un élément chimique dans un échantillon. Les valeurs isotopiques ou les proportions des isotopes sont comparées à un standard international et leur écart par rapport à celui-ci sont indiquées en pour-mille (‰).

Le fractionnement isotopique est un changement dans la proportion des isotopes stables, induit par des processus chimiques, physiques et biologiques.

Domaines d'application

Les méthodes isotopiques sont utilisées durant la phase d'investigation de détail, mais elles peuvent également fournir des indications importantes dans le cadre des investigations pour établir le projet d'assainissement.

Les produits contenant des HCC peuvent présenter différentes signatures isotopiques en fonction de leur procédé de fabrication. Comme les processus de dégradation biologique s'attaquent de préférence aux isotopes les plus légers (p. ex. ^{12}C), les molécules qui comportent des isotopes lourds s'accumulent par rapport aux autres au fil du temps. Les méthodes isotopiques sont utilisées aux fins suivantes dans le cadre de la caractérisation et de l'investigation des pollutions par des HCC :

- attribution des pollutions des eaux souterraines par des HCC à leur foyer ou leurs foyers de pollution respectif(s) sur la base de leurs différentes signatures isotopiques (p. ex. signatures C-Cl);
- détermination de la provenance des polluants présents dans l'air ambiant (comparaison entre dégazage depuis le sol/les eaux souterraines et source interne)¹⁸;
- détection et quantification de la dégradation biologique (pour savoir en particulier si le CV continue à être dégradé ou s'il n'y a que dilution/sorption);
- estimation du devenir du panache lorsque cette méthode est utilisée pour compléter les connaissances relatives aux conditions hydrogéologiques.

Limites de la méthode par analyse isotopique

L'utilisation et la pertinence de cette méthode peuvent dans certains cas être limitées par des facteurs spécifiques au site, comme des concentrations en HCC trop faibles (inférieures à la limite de détection pour l'analyse isotopique) ou l'emploi en divers endroits de produits possédant la même signature isotopique. La biodégradation peut de plus représenter un facteur limitant pour différencier les sources de contamination par les analyses isotopiques. En effet, celle-ci induit un changement de la valeur de signature isotopique du produit initialement déversé. Il est possible de la prendre en compte afin de déterminer la valeur initiale de la signature par le calcul mais cela suppose la possibilité de mesurer les signatures isotopiques des métabolites et induit une plus grande incertitude sur la valeur finale. Les analyses isotopiques devraient être vues comme un outil complémentaire qui peut aider à une meilleure appréhension de la situation en ce qui concerne l'origine et le devenir des HCC.

4.5 Adaptation du but d'assainissement selon l'art. 15 OSites

Les conditions permettant de s'écarter du but d'un assainissement sont énumérées dans l'art. 15, al. 2 (pour les eaux souterraines) et al. 3 (pour les eaux de surface), OSites (voir bases légales sous 4.1). Comme le problème des sites contaminés par des HCC touche principalement les eaux souterraines, on ne se penchera ici que sur l'al. 2 (eaux souterraines).

En secteur üB de protection des eaux, pour s'écarter du but d'assainissement, il faut uniquement que le principe cité dans l'annexe 2, ch. 21, al. 1, OEaux soit respecté; selon ce principe, la concentration des substances pour lesquelles des exigences chiffrées sont fixées dans l'annexe 2, ch. 22, OEaux ne doit pas continuellement augmenter dans les eaux du sous-sol.

Les explications qui suivent concernent le secteur A_U de protection des eaux.

On s'écartera du but d'un assainissement visant à protéger les eaux souterraines si les conditions suivantes sont réunies (art. 15, al. 2, OSites).

1. Premièrement, le fait de s'écarter du véritable but de l'assainissement (élimination des atteintes ou des dangers concrets d'apparition de telles atteintes) réduit globalement la pollution de l'environnement (let. a).
2. La mise en œuvre des mesures pour atteindre l'objectif d'assainissement impliquerait des coûts disproportionnés (let. b).
3. Finalement, l'utilisation des eaux souterraines situées en secteur A_U de protection des eaux est garantie ou les eaux de surface (éventuellement en contact avec les eaux souterraines à l'extérieur du secteur A_U de protection des eaux) satisfont aux exigences qualitatives de la législation sur la protection des eaux (let. c).

Le module «*Besoin, buts et urgence de l'assainissement*» précise les trois conditions permettant de s'écarter du but d'assainissement et explique plus en détail quelles exigences appliquer aux eaux souterraines, et à

quel endroit. Ces explications sont aussi valables pour les HCC et sont en partie formulées ici.

La pollution de l'environnement, la proportionnalité des coûts et la qualité de l'eau peuvent seulement être estimées au stade de l'investigation de détail. C'est en général seulement après avoir effectué l'étude de variantes et élaboré le projet d'assainissement pour la variante optimale que l'on dispose des données nécessaires pour une évaluation fondée de ces trois exigences. Lorsque l'autorité évalue le projet d'assainissement, elle doit aussi vérifier les conditions permettant de s'écarter de l'objectif fixé pour l'assainissement comme mentionné dans l'art. 18, al. 1, let. e, OSites.

La procédure à suivre pour savoir s'il est possible de s'écarter du but d'un assainissement ainsi que les questions auxquelles il faut répondre sont illustrées schématiquement dans la figure 5.

Réduction globale de la pollution de l'environnement

Dans certains cas, il arrive que la méthode d'assainissement permettant d'atteindre les buts implique une intervention écologique trop importante (p. ex. excavation dans un milieu sensible et élimination de déchets dans une décharge éloignée). Une méthode plus douce (p. ex. assainissement in situ) pourra alors être envisagée, pour autant qu'elle amène une amélioration considérable de la situation.

Coûts disproportionnés

Une enquête non représentative a été réalisée concernant les coûts d'assainissement de sites pollués par des HCC ; elle indique les coûts par kg de HCC retiré. Les résultats sont présentés dans l'annexe B, critère 17. La gradation des coûts ne représente toutefois pas une échelle absolue, mais sert uniquement de base de comparaison.

Utilisation des eaux souterraines

L'utilisation des eaux souterraines situées en secteur A_U de protection des eaux doit rester garantie si l'on s'écartere du but fixé pour l'assainissement.

Dans les zones du secteur A_U de protection des eaux où l'eau est exploitée ou destinée à l'être (voir zones en bleu dans la fig. 5), c'est-à-dire dans le captage d'eaux

souterraines lui-même, dans les zones de protection des eaux souterraines et dans les bassins versants hydrogéologiques (BVH) des captages existants et futurs (donc des périmètres de protection des eaux souterraines), l'utilisation des eaux souterraines selon l'annexe 2, ch. 22, OEaux est garantie si la concentration est inférieure à la valeur exigée de 1 µg/l par type de HCC¹⁹.

Il n'y a pas de marge permettant d'adapter les buts d'assainissement pour les sites où la demi-valeur de concentration de l'OSites est dépassée, car cette demi-valeur est déjà supérieure à la valeur exigée de 1 µg/l. Il en va autrement pour les sites qui nécessitent un assainissement parce que les substances qu'ils libèrent se retrouvent dans le captage d'eaux souterraines en concentrations supérieures au seuil de quantification. Dans ce dernier cas, on s'écartera des buts d'assainissement en remplaçant le seuil de quantification par la valeur de 1 µg/l (à condition que les autres conditions de l'art. 15 OSites soient également satisfaites).

Dans la pratique, il n'est pas toujours aisé de déterminer si le site pollué se trouve dans un BVH, c'est-à-dire dans la zone colorée en bleu, car celle-ci n'est pas définie par le droit fédéral et son étendue dépend également de facteurs hydrogéologiques et de l'utilisation effective des eaux souterraines (débit de pompage). On se base donc sur l'aire d'alimentation au lieu du BVH. L'aire d'alimentation est définie juridiquement (art. 29, al. 1, let. c, OEaux) ; elle couvre la zone où se reforment, à l'étiage, environ 90% des eaux du sous-sol pouvant être prélevées au maximum par un captage (annexe 4, ch. 113, OEaux). Le guide pratique «*Dimensionnement des aires d'alimentation ZU*» (OFEV, 2005) donne des précisions concernant sa délimitation.

Dans les zones exploitables du secteur A_U de protection des eaux qui ne sont ni exploitées, ni destinées à l'être (colorées en jaune dans la fig. 5), l'eau souterraine doit respecter, au besoin après application d'un traitement simple, les exigences fixées pour l'eau potable dans la législation sur les denrées alimentaires (annexe 4, ch. 111, al. 2, let. b, OEaux). Les exigences concernant l'eau potable sont fixées dans l'ordonnance du DFI sur

¹⁹ Non valable pour le CV

l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD, RS 817.022.11). Comme la valeur fixée par l'OPBD pour les HCC est souvent inférieure à la demi-valeur de concentration selon l'annexe 1 OSites, il n'y a pas ou que peu de marge permettant d'adapter les buts d'un assainissement dans les zones du secteur A_U colorées en jaune. On adaptera donc le but d'assainissement jusqu'à atteindre la valeur de l'OPBD. Il faut aussi tenir compte du fait que la somme des hydrocarbures halogénés volatils dont la structure fondamentale comporte entre un et trois atomes de carbone et aucun autre groupe fonctionnel ne doit pas dépasser la valeur maximale de 10 µg/l selon l'annexe 2 OPBD.

Un autre cas est celui des sites (en vert dans la fig. 5) en secteur A_U où l'exploitation de l'eau potable n'est techniquement pas possible en raison de la faible épaisseur de la nappe ou n'est juridiquement pas possible en raison de la forte densité de population, car on ne pourrait plus y délimiter de zones de protection des eaux souterraines conformes à la loi. Pour ces sites, seule s'applique la prescription de l'annexe 2, ch. 21, al. 1, OEaux selon laquelle la concentration des substances énumérées dans l'annexe 2, ch. 22, OEaux ne doit pas continuellement augmenter (au cours du temps). Les buts d'un assainissement ne peuvent pas être adaptés indéfiniment. En plus de la situation des eaux souterraines directement sur le site, il faut tenir compte des répercussions sur la qualité des eaux souterraines plus en aval pour évaluer à quel point il est possible de s'écarter des buts initiaux d'un assainissement. Si par exemple les eaux souterraines sont inexploitable dans un secteur A_U de protection des eaux situé à proximité directe d'un site pollué, mais qu'elles pourraient en principe être utilisées plus loin en aval, il faut s'assurer que la qualité de l'eau potable continuera à être respectée en aval malgré l'adaptation des buts de l'assainissement.

IMPORTANT :

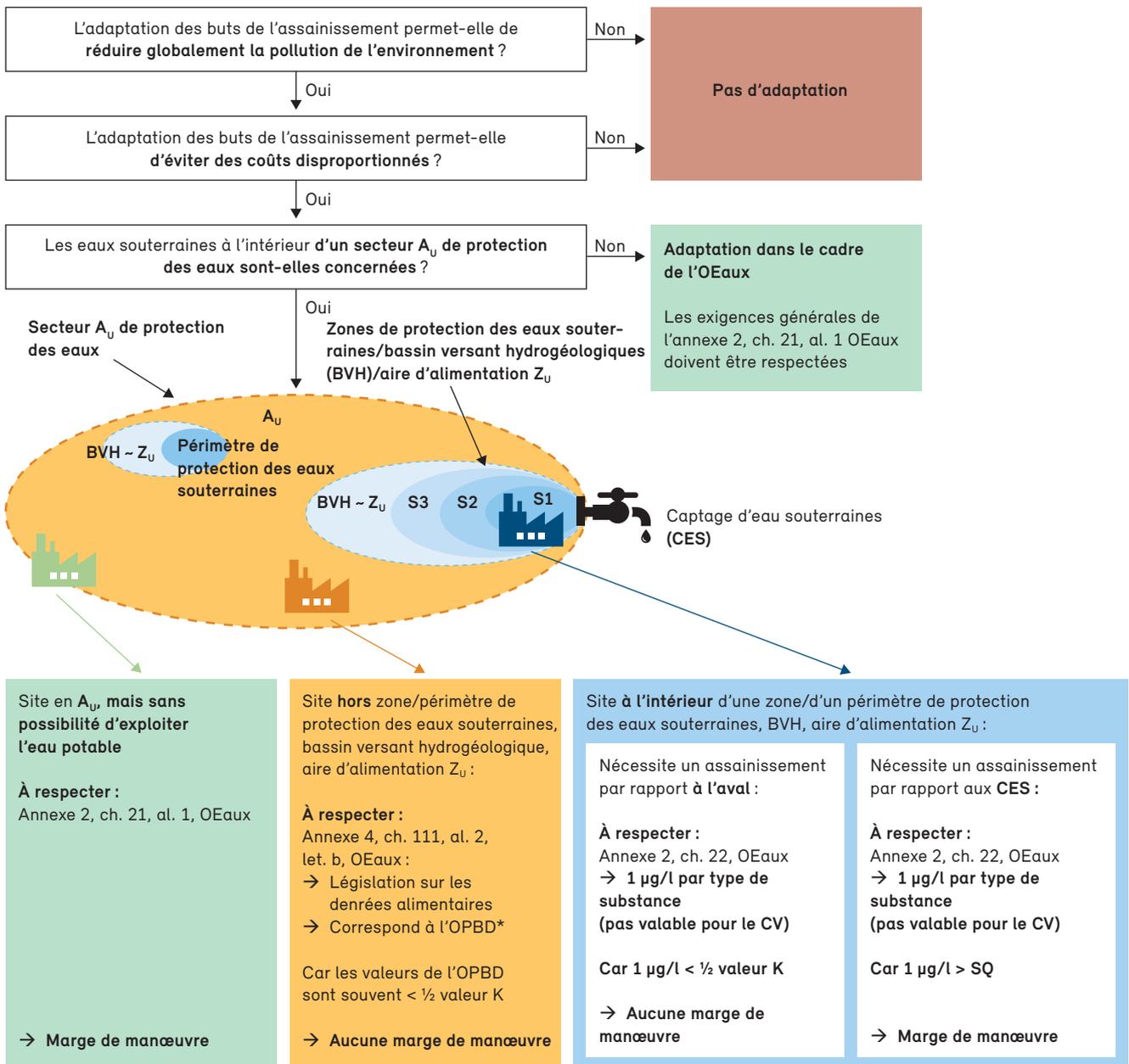
Les explications ci-dessus et la figure 5 présentent dans quelle mesure et sous quelles conditions les buts initiaux d'assainissement doivent être adaptés. Cependant, ces conditions ne sont pas remplies dans la grande majorité des cas, si bien que les buts d'assainissement définis à l'issue de l'investigation de détail demeurent valables. L'adaptation des buts initiaux d'assainissement peut être considérée comme une échappatoire et n'est admise que dans de rares cas, c'est-à-dire pour empêcher des coûts disproportionnés et lorsqu'il faudrait s'attendre à une dégradation de l'environnement. Les exigences de la législation sur la protection des eaux devront toujours être satisfaites. Un écart par rapport aux buts initiaux présuppose des connaissances qui ne sont disponibles qu'à l'issue de l'étude des variantes d'assainissement.

Figure 5

Marge de manœuvre pour s'écarter des buts d'assainissement

Adaptation du but d'assainissement

L'autorité vérifie les conditions suivantes dans le cadre de son évaluation du projet d'assainissement :
(art. 18, al. 1, let., e en relation avec l'art. 15, al. 2, OSites)



* Ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD, RS 817.022.11)

5 Assainissement

L'assainissement des sites contaminés par des HCC s'avère souvent complexe en raison des propriétés particulières de ces substances et de l'hétérogénéité du sous-sol ; il n'est donc pas rare que les buts d'un assainissement ne soient pas atteints. Des solutions adaptées au problème des HCC ont été élaborées pour les thèmes suivants dans le cadre des groupes de travail ChloroNet :

- atteinte des buts d'assainissement pour les captages d'eau potable,
- interruption d'un assainissement,
- prolongation des délais d'assainissement pour les sites pollués au CV.

5.1 Bases légales

La réalisation d'un projet d'assainissement est régie en détail dans les art. 16 à 19 de l'OSites. On considère d'une part les mesures de décontamination (p. ex. assainissement in situ) (art. 16, let. a, OSites), c'est-à-dire les mesures qui permettent d'éliminer les substances dangereuses pour l'environnement, et d'autre part le confinement du site (art. 16, let. b, OSites), c'est-à-dire des mesures qui permettent d'empêcher durablement la dissémination des substances dangereuses dans l'environnement (p. ex. étanchéification du site). Les mesures de confinement ne se prêtent en principe pas à l'assainissement des pollutions aux HCC.

L'autorité exige que le projet d'assainissement soit élaboré en tenant compte des buts et de l'urgence de l'assainissement (art. 17 OSites). Le projet doit en particulier donner des indications sur les mesures d'assainissement et leur efficacité, le suivi et le temps nécessaire, les effets des mesures prévues sur l'environnement ainsi que les dangers qui pourraient subsister pour l'environnement après l'assainissement.

L'autorité vérifie ensuite le projet d'assainissement qui lui a été soumis conformément à l'art. 18, al. 1, OSites ; ce faisant, elle tient compte entre autres de l'efficacité à long terme de la mesure et contrôle si les conditions permettant de s'écarter de l'objectif fixé pour l'assainis-

sement en vertu de l'art. 15, al. 2 et 3 (let. b et e), sont satisfaites ou non. Puis elle rend une décision d'assainissement. Le but d'un assainissement est d'éliminer les atteintes nuisibles ou incommodantes (prévention à la source). Comme dernière étape, l'autorité doit être informée des mesures d'assainissement réalisées et il doit être prouvé que les objectifs d'assainissement ont été atteints (art. 18, al. 2, et art. 19 OSites). Si tel est le cas, l'inscription au cadastre est adaptée en conséquence.

5.2 Étude de variantes

Au début d'un projet d'assainissement, il convient de choisir, parmi les nombreuses variantes possibles, le meilleur mode d'assainissement, c'est-à-dire celui qui permettra d'assainir le site avec succès et de manière économique, en tenant compte de l'évolution technologique et en respectant l'environnement. Le module «*Évaluation des variantes d'assainissement*» (OFEV, 2014) présente une procédure structurée par étapes, destinée à guider le choix de la variante optimale d'assainissement à l'aide de critères.

Pour l'assainissement de sites plus étendus et plus complexes qui sont pollués par des HCC, il peut être judicieux de demander un second avis d'expert. La méthode de la participation structurée d'experts est un bon exemple de la collaboration avec les experts. Des experts jusque-là externes, non familiarisés avec le cas, analysent la situation et donnent leur avis sur les investigations déjà effectuées ainsi que sur les mesures réalisées ou planifiées.

5.3 Interruption d'un assainissement

Malgré les importantes mesures mises en œuvre, les chances de mener à bien l'assainissement d'un site contaminé par des HCC sont plus faibles que pour les autres types de pollution. S'il est probable que le but ne pourra pas être atteint même en poursuivant les mesures, l'interruption de l'assainissement peut être envisagée.

Définition

L'interruption d'un assainissement consiste à ne pas ordonner de mesure d'assainissement supplémentaire même si un besoin d'assainir subsiste en vertu des art. 9 à 12 OSites. Des mesures d'assainissement supplémentaires ne sont ordonnées que lorsque :

- de nouvelles connaissances essentielles sur le site existent (répartition de la pollution, etc.), ou
- les résultats de la surveillance indiquent la nécessité d'estimer à nouveau la mise en danger, ou
- la situation est modifiée, par exemple par des travaux de construction qui touchent aux terrains pollués ou qui favorisent l'accès à la pollution, ou
- un nouveau procédé d'assainissement approprié est applicable, ou
- un procédé d'assainissement jugé excessivement onéreux jusqu'alors est applicable à de meilleures conditions suite à une évolution du marché.

Tant qu'aucun de ces critères n'est satisfait, la suspension des mesures d'assainissement ne peut pas être remise en question pour des raisons de sécurité juridique.

Le besoin d'assainissement subsiste pendant toute la durée de l'interruption, et le site concerné doit en plus être surveillé en vertu de l'art. 13, al. 2, let. b, OSites.

Exigences minimales pour envisager l'interruption d'un assainissement

Toute discussion portant sur l'interruption éventuelle d'un assainissement doit reposer sur une image plausible de l'ensemble du site. Les exigences minimales énumérées dans le tableau 3, qui concernent notamment l'état des connaissances, doivent être satisfaites au préalable. L'interruption éventuelle d'un assainissement ne peut pas être admise si ces connaissances sont insuffisamment approfondies.

Tableau 3

Exigences minimales pour l'interruption d'un assainissement

Exigences minimales concernant l'état des connaissances

Le type, la quantité et l'emplacement des polluants présents dans le sous-sol ainsi que l'évolution temporelle de la pollution sont connus avec une précision suffisante. Cela s'applique également aux principaux lieux d'infiltration et de pénétration des polluants.

Les voies de dissémination des polluants dans le sous-sol et dans les eaux souterraines qui s'écoulent en aval du site sont connues avec une précision suffisante.

Toutes les variantes d'assainissement appropriées ont été identifiées et suffisamment évaluées conformément au module d'aide à l'exécution «Évaluation des variantes d'assainissement». Leur faisabilité et leur efficacité ont notamment été prises en considération.

Chaque procédé d'assainissement a été examiné en tenant compte des connaissances techniques les plus récentes.

Les informations acquises sont exhaustives et leur plausibilité a été vérifiée.

Exigences minimales concernant le bien à protéger

L'utilisation d'un captage d'eaux souterraines ou d'un périmètre de protection des eaux souterraines touché par des émissions de HCC provenant du site considéré reste possible sans restriction.

Exigences minimales concernant le site

Les limites du site restent stables, le système est stationnaire.

Le site reste accessible pour mettre en œuvre des mesures d'assainissement ultérieurement (art. 3 OSites).

Critères d'interruption d'un assainissement

Les 19 critères cités dans l'annexe B permettent à l'expert ou à l'autorité d'apprécier s'il est raisonnable d'ordonner la poursuite d'un assainissement ou si son interruption est envisageable.

Indications importantes concernant l'application de la liste de critères

- La décision concernant l'interruption d'un assainissement – à l'instar de la pesée des intérêts liée aux législations sur l'aménagement du territoire et sur l'environnement – demande d'énumérer de nombreux arguments pour ou contre, de les confronter, de les pondérer et d'en faire une synthèse pour obtenir un résultat.

- Les 19 critères sont d'abord une énumération, sous la forme de check-list aussi complète que possible, des arguments à prendre en considération lors de la décision. L'annexe B comprend aussi des instructions aidant à déterminer dans quels cas un argument sera plutôt pour ou plutôt contre l'interruption d'un assainissement.
- Tous les critères mentionnés doivent être évalués, quelle que soit leur pertinence dans le cas examiné.
- Dans un premier temps, chaque critère est considéré individuellement, séparément des autres critères, fussent-ils apparentés.
- L'évaluation des critères porte sur la situation obtenue après l'achèvement des mesures mises en œuvre jusqu'alors. Cela signifie que les mesures planifiées dans le projet initial ont été réalisées.
- Dans un deuxième temps, les différents critères et leur évaluation sont confrontés les uns aux autres et regroupés dans une synthèse. Cette appréciation doit tenir compte des particularités du cas examiné. La liste de critères ne dit rien au sujet de cette confrontation. Son but ne consiste pas non plus à simplement comparer le nombre de critères « pour » et le nombre de critères « contre ». Il appartient à l'utilisateur de la liste de pondérer les différents critères pour motiver de manière plausible et compréhensible sa décision pour ou contre l'interruption d'un assainissement.

Cas particulier du CV

Pour pouvoir envisager d'interrompre l'assainissement d'un site pollué par du CV, les 19 critères doivent en majeure partie être remplis. Le critère 1 (concentration en aval à proximité du site – écart par rapport au but de l'assainissement [%]) doit être moins pondéré. À part cela, les interruptions d'assainissement pour les sites contaminés par du CV sont soumises à la même procédure que celle décrite plus haut pour les autres HCC.

5.4 Prolongation du délai d'assainissement pour les sites contaminés au CV

Les sites pollués par du CV représentent un grand défi en raison des différentes contraintes qui se posent, comme la valeur de concentration très faible de 0,5 µg/l, due à sa toxicité élevée, et les mesures pratiques. Une procé-

sure spéciale a été mise au point pour l'assainissement de ces sites, comme cela avait été le cas concernant leur radiation du cadastre (voir points 2.5.1 et 2.5.2). Comme il est souvent évident dès le début de l'assainissement des sites contaminés par du CV que le but ne pourra pas être atteint, on propose une solution pour la gestion des pollutions au CV avant l'assainissement : la prolongation du délai d'assainissement.

Un délai d'assainissement peut être prolongé en fonction de l'évaluation de son niveau d'urgence (art. 18, al. 2, let. b, OSites). Si le délai d'assainissement est prolongé, le site contaminé par du CV reste inscrit au cadastre comme « nécessitant un assainissement ».

L'autorité décide d'une éventuelle prolongation du délai d'assainissement après avoir évalué les variantes d'assainissement (première phase du projet d'assainissement), car c'est seulement à ce moment-là qu'il est possible d'en apprécier la proportionnalité et que les exigences minimales concernant l'état des connaissances sont remplies.

Les exigences minimales suivantes doivent être satisfaites pour que le délai d'assainissement des sites contaminés au CV puisse être prolongé :

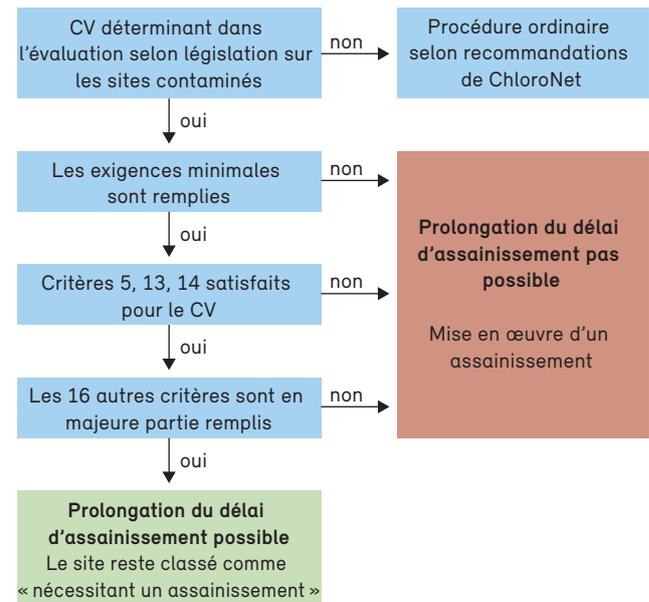
Tableau 4
Exigences minimales pour la prolongation du délai d'assainissement pour les sites contaminés au CV

Exigences minimales concernant l'état des connaissances
Le type, la quantité et l'emplacement des polluants présents dans le sous-sol ainsi que l'évolution temporelle de la pollution sont connus avec une précision suffisante. Cela s'applique également aux principaux lieux d'infiltration et de pénétration des polluants.
Les voies de dissémination des polluants dans le sous-sol et dans les eaux souterraines qui s'écoulent en aval du site sont connues avec une précision suffisante.
Les informations acquises sont exhaustives et leur plausibilité a été vérifiée.
Exigences minimales concernant le bien à protéger
L'utilisation d'un captage d'eaux souterraines ou d'un périmètre de protection des eaux souterraines touché par des émissions de HCC provenant du site considéré reste possible sans restriction, éventuellement après application d'un traitement simple ²⁰ .
Exigences minimales concernant le site
Les limites du site restent stables, le système est stationnaire.
Le site reste accessible pour mettre en œuvre des mesures d'assainissement ultérieurement (art. 3 OSites).

Si ces exigences sont respectées, on peut poursuivre le processus d'évaluation selon le schéma présenté à la figure 6. La prolongation d'un délai d'assainissement est en principe évaluée de manière analogue à une interruption d'assainissement pour les autres HCC. Les critères 5 (conditions pour une dégradation naturelle présentes), 13 (pas de CV provenant du site en concentration supérieure à la limite de quantification détectable dans un captage existant) et 14 (pas d'autres biens à protéger touchés) sont toutefois jugés obligatoires en raison de la toxicité particulièrement élevée du CV. Ces critères sont décrits en détail dans l'annexe A. Les 16 autres critères doivent en majeure partie aussi être remplis. Un site pollué par du CV peut bénéficier d'une prolongation du délai d'assainissement si toutes les questions de la figure 6 ont reçu une réponse affirmative.

²⁰ Un traitement (simple) pourra uniquement être envisagé dans le but de respecter la valeur maximale de 0,5 µg/l fixée dans l'OPBD. L'exigence chiffrée de 1 µg/l fixée dans l'OEaux, valable pour tous les types de HCC, doit être respectée sans appliquer de traitement.

Figure 6
Processus d'évaluation des exigences pour une prolongation du délai d'assainissement



5.5 Atteinte des buts d'assainissement pour les captages d'eaux souterraines

Facteurs déclencheurs d'un assainissement pour les captages d'eaux souterraines

Selon l'art. 9, al. 2, let. a, OSites, un site pollué nécessite un assainissement du point de vue de la protection des eaux souterraines si, dans les captages d'eaux souterraines destinés à l'usage public, on constate la présence, dans des concentrations dépassant le seuil de quantification, de substances provenant du site susceptibles de polluer les eaux. Cela signifie qu'il existe un besoin d'assainissement en vertu de la législation sur les sites contaminés dès le moment où une substance peut être détectée et quantifiée dans un captage, et que sa provenance peut être attribuée à un site.

Le module « Besoin, buts et urgence de l'assainissement » contient des informations concrètes sur ces différentes notions.

L'OSites, qui préconise de déclencher un assainissement dès que les concentrations dans les captages d'eaux souterraines dépassent le seuil de quantification, est

plus sévère que l'OEaux, qui exige une valeur inférieure à 1 µg/l par type de substance (annexe 2, ch. 22, al. 2, num. 9). Cette réglementation stricte se base sur des considérations d'ordre social plutôt que toxicologique. Dans l'opinion publique, il est inacceptable qu'un captage d'eaux souterraines puisse être pollué par une source clairement définie, c'est-à-dire par un site pollué. Cela justifie le « principe de tolérance zéro » fixé dans l'OSites pour les captages d'eaux souterraines.

Défis et approche

Presque 50 % des captages exploités en zone urbaine en Suisse contiennent des traces détectables de HCC. L'expérience montre en même temps qu'il est possible de détecter à long terme des traces de HCC supérieures au seuil de quantification dans un captage, même si les buts d'assainissement ont été atteints à l'aval à proximité du site. Il est donc pertinent de se demander si de nombreux sites contaminés doivent rester classés comme nécessitant un assainissement malgré les mesures d'assainissement déjà effectuées.

La réponse est facilitée par le fait que la qualité des informations réunies est très élevée au stade de l'assainissement (p. ex. les concentrations en aval immédiat, l'évolution temporelle, la charge, etc.). Les substances provenant du site et détectées dans les captages d'eaux souterraines peuvent être considérées de manière plus différenciées, ce qui permet d'évaluer les risques une nouvelle fois de façon plus pertinente.

Dans de tels cas, il faut en principe vérifier si les polluants détectés dans le captage proviennent toujours du site lui-même (définition du site selon point 2.3) ou s'ils émanent de pollutions résiduelles à l'extérieur du site (voir 2.4) ou seulement du panache de pollution (dissous dans les eaux souterraines).

Si la situation laisse supposer que les substances détectées dans le captage proviennent toujours du site et continueront à être libérées par le site, il faut procéder à d'autres vérifications ou mesures. Il se peut que le potentiel de pollution soit plus élevé que prévu. Le site reste classé comme nécessitant un assainissement et l'assainissement doit éventuellement être poursuivi.

Si la situation laisse en revanche supposer que la pollution a été à tel point éliminée du site que les substances détectées dans le captage proviennent du panache ou de pollutions résiduelles à l'extérieur du site, le site doit alors faire l'objet d'une surveillance dans le cadre du contrôle des résultats en dernière phase de l'assainissement.

On peut s'écarter au cas par cas de l'objectif d'assainissement relatif à un captage d'eaux souterraines si les données relevées pendant la phase de surveillance sont disponibles et que les conditions suivantes sont satisfaites

- La phase de surveillance a mis en évidence une diminution de la concentration (voir fig. 7).
- Il est probable que la concentration descendra au-dessous du seuil de quantification (but d'assainissement) au cours des années à venir.
- Celui qui est tenu d'assainir peut démontrer qu'il ne subsiste pas de pollution substantielle sur le site et que la ou les sources de pollution ont été éliminées.
- L'évaluation a pris en compte la progression du panache, l'évolution décroissante des concentrations, le potentiel de pollution résiduelle, l'exposition des utilisateurs ainsi que d'autres informations, et la plausibilité des données a été vérifiée.
- Après avoir étudié les données relevées conformément aux exigences, le service cantonal de la protection des eaux a conclu (en cas de concentrations > 1 µg/l²¹ par type de substance dans le captage) que le fait de poursuivre l'assainissement ne permettrait pas de faire diminuer de manière significative la pollution des eaux souterraines exploitées.

21 Adaptation du but d'assainissement, voir point 4.5 de ce module d'aide à l'exécution ainsi que le chapitre 2 du rapport d'experts « Pollutions résiduelles »

Figure 7

La phase de surveillance effectuée à la fin de l'assainissement montre que la concentration dans le captage diminue au fil du temps

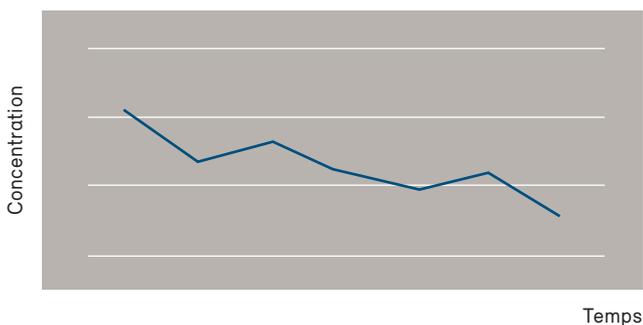
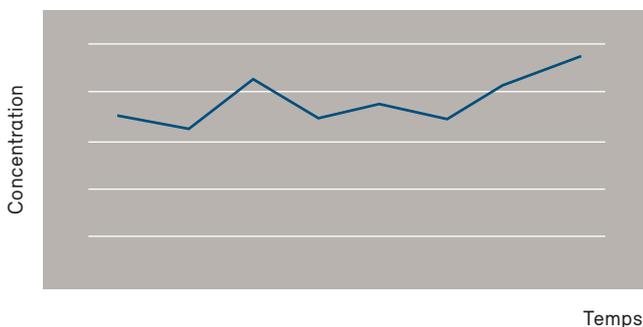


Figure 8

La phase de surveillance effectuée à la fin de l'assainissement montre que la concentration dans le captage stagne ou augmente au fil du temps



Si, durant la phase de surveillance, on constate que la concentration dans le captage stagne, voire augmente (voir fig. 8), on admettra que le site contient encore des substances à l'origine de la pollution constatée dans le captage et la question doit être approfondie. Dans ce cas, le site reste classé comme «nécessitant un assainissement».

Il convient de vérifier l'art. 3 OSites lorsque des travaux de construction sont envisagés sur ces sites.

Annexe A Informations complémentaires concernant le CV

Document d'aide pour la gestion des pollutions au CV

Objectif

Dans la pratique, le CV se distingue souvent des autres HCC en raison de ses propriétés particulières. En conditions anaérobies, le CV peut apparaître comme produit de dégradation d'autres HCC ; il peut aussi atteindre des stades de dégradation plus avancés si les conditions sont favorables. En même temps, sa valeur de concentration selon l'annexe 1 de l'OSites est extrêmement basse (0,5 µg/l) en raison de sa toxicité.

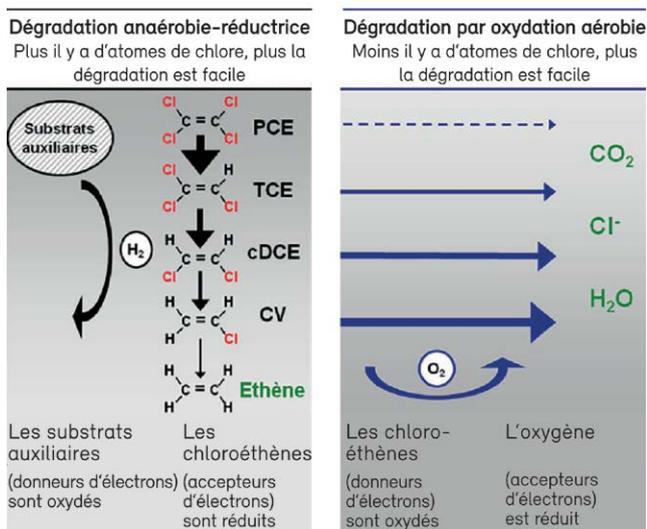
L'évaluation des pollutions au CV a soulevé de nombreuses questions ces dernières années et a souvent été

à l'origine de situations insatisfaisantes par le passé. Les chances de mener à bien l'assainissement d'une pollution au CV en secteur A₀ de protection des eaux étaient en effet jugées comme improbables, ou alors les mesures d'assainissement ne permettaient pas d'atteindre la valeur de ½ concentration prescrite pour le CV dans les eaux souterraines en aval du site.

En raison de ses propriétés particulières, le CV a délibérément été laissé de côté dans différentes fiches d'information de ChloroNet concernant la gestion des pollutions aux HCC. Le but du présent module (points 2.5.1, 2.5.2, 5.3 et 5.4) et notamment de cette annexe A est d'offrir un document d'aide pour la gestion des pollutions au CV.

Figure 9

Voies de dégradation des HCC



Source : TZW Karlsruhe

Propriétés du CV

L'utilisation du CV sous forme de produit primaire a toujours été extrêmement rare dans les activités industrielles, et il n'en est pas tenu compte dans la suite. Par contre, le CV apparaît à la fin de la chaîne de dégradation anaérobie du Per (= PCE, cf. fig. 9), juste avant l'éthène, et peut donc jouer un rôle indépendamment de la pollution d'origine. Le CV se distingue en particulier par les propriétés suivantes :

- son extrême volatilité (il est presque impossible de le détecter dans la matière solide),
- son existence principalement sous forme dissoute,
- sa toxicité, qui justifie la valeur de concentration très basse (0,5 µg/l),
- sa dégradabilité aérobie et anaérobie dans les eaux souterraines si les conditions sont favorables.

Il existe deux processus de dégradation biologique des HCC, nécessitant chacun des conditions de milieu différentes. Au cours de la dégradation anaérobie réductrice, le CV apparaît comme produit intermédiaire.

1. Dégradation des HCC par déchloration anaérobie réductrice

En conditions suffisamment anaérobies, la déchloration réductrice peut se dérouler jusqu'au stade final de l'éthène ; cela signifie que le CV est réduit en éthène par séparation d'un atome de chlore. Seules les bactéries de l'espèce dehalococcoides en sont capables. Plus le chloroéthylène contient d'atomes de chlore, plus la dégradation par déchloration anaérobie réductrice s'effectue en général facilement. La présence de bactéries de déchloration anaérobie réductrice peut être détectée par réaction en chaîne par polymérase et à l'aide de tests de dégradation.

2. Dégradation des HCC par oxydation aérobie

La présence d'oxygène permet l'oxydation aérobie et la minéralisation des HCC, et par là-même du CV, c'est-à-dire leur transformation en dioxyde de carbone, chlorure et eau. Moins le chloroéthylène contient d'atomes de chlore, plus la dégradation par oxydation aérobie s'effectue en général facilement. La présence de bactéries de dégradation par oxydation aérobie peut être démontrée par la méthode du nombre le plus probable (MPN, Most Probable Number).

Certaines méthodes d'assainissement peuvent mener à une formation importante de CV (p. ex. procédés d'assainissement biologiques anaérobies, voir encadré ci-dessous). Il faut donc veiller à ne pas accroître les risques pour l'environnement en recourant à de tels procédés.

Procédés d'assainissement biologiques

- Les processus biologiques tirent parti de la dégradabilité des polluants, avant tout par des microorganismes en milieu réducteur.
- Les HCC comme le Per, le Tri et le Cis ne sont souvent pas dégradés complètement, mais seulement jusqu'au stade du CV. Il existe également des processus de dégradation aérobie.
- Afin d'éviter l'apparition d'un éventuel problème lié au CV suite à une pollution par des HCC, il faut donc bien étudier l'utilisation des procédés anaérobies biologiques et chimiques, car ils modifient les conditions du milieu dans les eaux souterraines.

Les critères suivants (voir annexe B) doivent obligatoirement être satisfaits pour une prolongation du délai d'assainissement.

Critères n° 5, 13 et 14

En principe, une prolongation du délai d'assainissement est évaluée de manière analogue à une interruption d'assainissement pour les autres HCC. En raison de la toxicité particulièrement élevée du CV, les critères 5, 13 et 14 sont toutefois posés comme *obligatoires* (cf. tableau à la page suivante).

Tableau 5

Critères à remplir obligatoirement pour la prolongation du délai d'assainissement pour les sites contaminés au CV

<p>Critère 5 Dégradation naturelle</p>	<p>Les conditions pour une dégradation complète doivent être présentes. Pour la dégradation aérobie²², les preuves suivantes doivent être apportées jusqu'à environ 100 m en aval de la limite du site²³ :</p> <ul style="list-style-type: none"> • eaux souterraines riches en oxygène²⁴ et • concentration en CV dans les eaux souterraines inférieure à la limite de quantification. • La dégradation complète doit se dérouler hors des zones ou des périmètres de protection.
<p>Critère 13 Influence du site sur les captages existants</p>	<p>Pas de concentration en CV supérieure à la limite de quantification détectable dans le captage.</p>
<p>Critère 14 Autres biens à protéger touchés de manière significative ?</p>	<p>Évaluation des risques pour l'air (air ambiant) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les émissions de CV dégagées par le site peuvent-elles atteindre des endroits dans lesquels des personnes se trouvent régulièrement pendant une durée prolongée (p.ex. des bâtiments) et y constituer une source de danger ? <p>Évaluation des risques pour les eaux de surface :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De l'eau souterraine polluée parvient-elle dans les eaux de surface directement ou via des conduites ou drainages, et est-ce que l'apport de CV y constitue une source de danger ?

²² La dégradation anaérobie en milieu pauvre en oxygène pose des exigences plus élevées (p.ex. démontrer une dégradation jusqu'au stade de l'éthène ou démontrer la présence de dehalococcoïdes, voir annexe).

²³ À considérer au cas par cas, à justifier pour les distances plus grandes.

²⁴ Saturation en O₂ > env. 60 %

Annexe B Interruption d'un assainissement

Les 19 critères d'évaluation de la pertinence d'une interruption de l'assainissement sont répartis en trois groupes :

- a) polluants présents sur le site,
- b) biens et objets à protéger,
- c) assainissement – aspects techniques.

a) Polluants présents sur le site

		POUR l'interruption de l'assainissement	CONTRE l'interruption de l'assainissement
1	Concentration en aval à proximité du site – écart par rapport au but de l'assainissement [%]	L'écart est faible.	L'écart est important.
2	Évolution temporelle de la concentration en aval à proximité du site	Les valeurs sont constantes ou une diminution a été relevée.	Les valeurs augmentent ou aucune tendance claire n'a été relevée.
3	Potentiel de pollution (quantité de HCC) dans le site	Le site présente un potentiel de pollution faible.	Le site présente un potentiel de pollution élevé.
4	Diminution du potentiel de pollution déjà obtenue (niveau de prévention à la source)	Le foyer de pollution primaire a été éliminé totalement ou en grande partie.	Seule une faible part du foyer de pollution primaire a été éliminée.
5	Dégradation naturelle	Une dégradation naturelle produit des substances peu problématiques.	Il n'y a aucune dégradation naturelle ou elle produit des substances problématiques.
6	Charge de pollution	Faible	Moyenne à élevée
7	Risque de dissémination	Faible	Élevé

b) Biens et objets à protéger

		POUR l'interruption de l'assainissement	CONTRE l'interruption de l'assainissement
8	Possibilité d'exploiter les eaux souterraines : découlant de leur quantité et de leur qualité aux niveaux hydrogéologique, physico-chimique et bactériologique	Les eaux souterraines ne sont pas utilisables en raison de leur quantité et de leur qualité à l'état naturel, même après application d'un traitement simple.	Les eaux souterraines sont utilisables en raison de leur quantité et de leur qualité à l'état naturel, éventuellement après application d'un traitement simple.
9	Possibilité d'exploiter les eaux souterraines découlant de la planification de la protection des eaux	Du fait de conflits entre diverses utilisations, également plus loin en aval du site, les eaux souterraines ne peuvent pas être protégées suffisamment par des mesures de planification pour permettre une utilisation comme eau potable.	Il n'y a aucun conflit important entre les diverses utilisations.

		POUR l'interruption de l'assainissement	CONTRE l'interruption de l'assainissement
10	Possibilité d'exploiter les eaux souterraines découlant de leur pollution de fond	Les eaux souterraines ne sont pas ou guère exploitables en raison de leur pollution de fond.	Les eaux souterraines ne sont affectées par aucune pollution de fond notable.
11	Exploitation existante ou prévue des eaux souterraines	Aucune utilisation existante ou prévue en aval du site, à une distance où il faut s'attendre à un afflux de polluants.	Utilisation existante ou prévue en aval du site, à une distance où il faut s'attendre à un afflux de polluants.
12	Importance des exploitations existantes	Importance mineure pour l'alimentation en eau potable.	Importance moyenne à grande pour l'alimentation en eau potable.
13	Influence du site sur les captages existants	Les eaux souterraines satisfont aux exigences nécessaires pour être exploitées comme eau potable (voir OEaux).	Les eaux souterraines ne satisfont pas aux exigences nécessaires pour être exploitées comme eau potable (voir OEaux).
		Les concentrations de HCC diminuent au captage.	Les concentrations de HCC sont stables ou augmentent au captage.
		Des mesures ou des modèles montrent qu'on peut s'attendre à une diminution significative des concentrations de HCC au captage à moyen ou à long terme.	Des mesures ou des modèles montrent qu'on ne peut s'attendre à aucune diminution significative des concentrations de HCC au captage à moyen ou à long terme.
14	D'autres biens à protéger (eaux de surface, sol, air) sont touchés significativement	Non	Oui

c) Assainissement – aspects techniques

		POUR l'interruption de l'assainissement	CONTRE l'interruption de l'assainissement
15	Probabilité de réussite	Aucune des variantes d'assainissement examinées ne garantit avec une probabilité suffisante que le but de l'assainissement pourra être atteint.	Au moins une des variantes d'assainissement examinées garantit avec une probabilité suffisante que le but de l'assainissement pourra être atteint.
16	Travaux de construction	Des travaux de construction prévus dans un proche avenir pourront être combinés avec des mesures d'assainissement, rendront de telles mesures nécessaires ou faciliteront l'accès à la pollution.	Aucun travail de construction n'est prévu à moyen ou à long terme. L'application de l'art. 3 OSites empêche toute construction.
17	Rapport coût-utilité	HCC restant à éliminer : rapport francs par kilo de HCC → élevé	HCC restant à éliminer : rapport francs par kilo de HCC → faible
18	Incidence sur l'environnement et utilité écologique	La réalisation de mesures d'assainissement est écologiquement nettement moins efficace que l'abandon des mesures.	La réalisation de mesures d'assainissement est écologiquement nettement plus efficace que l'abandon des mesures.
19	Mesures de protection nécessaires	La protection du site (mesure requise en cas d'interruption) est aisément réalisable sur le plan technique.	La protection du site (mesure requise en cas d'interruption) n'est techniquement réalisable qu'au prix de grands efforts.

Explications concernant les différents critères

Critère 1

Concentration en aval à proximité du site – écart par rapport au but de l'assainissement [%]

L'écart est évalué par rapport au but assigné à l'assainissement d'un site particulier. Cela correspond en règle générale aux valeurs de concentration selon l'OSites.

Exemple: le but assigné à l'assainissement d'un site contaminé par du perchloréthylène est de 20 µg/l en aval à proximité du site selon l'annexe 1 OSites (secteur A₀ de protection des eaux). Une concentration de 220 µg/l a été mesurée avant la mise en œuvre de mesures d'assainissement. Une fois la première série de mesures réalisée, la concentration est tombée à 100 µg/l. Cela a déjà permis de diminuer la pollution en aval de moitié, mais le but de l'assainissement reste dépassé d'un facteur quatre. Cet écart devrait toujours être considéré comme excessif.

Cas particulier du CV: la valeur de concentration assignée par l'annexe 1 OSites au CV, de 0,5 µg/l, est si basse que l'écart par rapport au but de l'assainissement est important, voire très important, même lorsque la concentration de CV est faible. Le critère 1 n'est donc pas approprié en ce qui concerne cette substance. C'est plutôt sa concentration en valeur absolue qui revêt de l'importance.

Critère 2

Évolution temporelle de la concentration en aval à proximité du site

Ce critère – appliqué au même endroit que le critère 1 – invoque la connaissance d'une diminution des valeurs de concentration en aval à proximité du site. La valeur absolue de la concentration fait l'objet du critère 1 et n'est pas considérée ici. Ce critère n'est en faveur de l'interruption d'un assainissement que si l'on a mesuré sans ambiguïté une diminution des valeurs de concentration ou éventuellement une valeur indubitablement constante pendant une longue période. Les prévisions basées sur des attentes ou sur des estimations ne sont pas prises en considération. Seul compte l'état actuel des connaissances (voir aussi le critère 13). Lorsque les concentrations fluctuent (évolution en dents de scie), on peut rarement identifier clairement une tendance à la baisse.

Critère 3

Potentiel de pollution (quantité de HCC) dans le site

La connaissance du potentiel de pollution fait partie des exigences minimales (voir 5.3), aussi est-elle nécessaire pour discuter de l'interruption d'un assainissement. En principe, on devrait suffisamment bien connaître le potentiel de pollution renfermé par un site si celui-ci a été délimité sérieusement. Le potentiel de pollution est toutefois un paramètre souvent très difficile à estimer. C'est pourquoi il faut discuter de sa variabilité et de l'erreur susceptible d'affecter sa détermination.

Critère 4

Diminution du potentiel de pollution déjà obtenue (niveau de prévention à la source)

La diminution du potentiel de pollution mesure l'effet sur l'environnement déjà obtenu. L'élimination du foyer de pollution est une mesure de prévention à la source. Bien réalisée, elle peut rendre caduque toute autre mesure d'assainissement. Lorsque seule une petite partie de la pollution totale du site a été éliminée, il faut plutôt poursuivre l'assainissement.

Critère 5

Dégradation naturelle

Les HCC peuvent en principe se dégrader, mais la biodégradation dépend fortement de la situation hydrogéologique et hydrochimique. Pour évaluer ce critère, il faut tenir compte du site et de l'aval à proximité du site.

En règle générale, les HCC subissent une dégradation naturelle en plusieurs étapes qui les transforme en CV, puis en éthène et produits finaux. Le CV est considéré comme une substance problématique. L'énoncé « une dégradation naturelle produit des substances peu problématiques » n'est valable que si la situation géologique, hydrogéologique et chimique permet une dégradation significative du CV dans une proportion telle qu'il ne peut plus s'accumuler.

Critère 6

Charge de pollution

L'interruption d'un assainissement est davantage envisageable dans un site renfermant une charge négligeable à faible que dans un site renfermant une charge moyenne à élevée.

La charge a déjà fait l'objet de discussions en tant que paramètre important pour évaluer l'urgence d'un assainissement. Une approche distinguant des valeurs faibles, moyennes et élevées a été développée (voir 4.2) dans un *rapport d'experts du groupe de travail «Charge»*. Cette classification peut être reprise ici.

La détermination de la charge est affectée d'incertitudes plus ou moins importantes selon les moyens mis en œuvre. C'est pourquoi la valeur obtenue doit toujours être assortie d'une marge d'erreur (voir le rapport du groupe de travail «Charge»).

Critère 7

Risque de dissémination

Si un potentiel de pollution élevé subsiste sur le site (voir les commentaires concernant les critères 3 et 4), la menace encourue par l'environnement dépend du risque de dissémination et de la mobilité des polluants. La mobilité des HCC volatils peut être qualifiée d'élevée, c'est pourquoi ce critère se concentre sur le risque de dissémination.

Dans la zone insaturée, les polluants sont généralement entraînés dans les eaux souterraines par l'eau de percolation – en faible quantité lorsque la surface du site est imperméable. Notons que toute perte d'étanchéité future peut modifier complètement l'évaluation des risques. Notons également que les HCC peuvent pénétrer dans le sous-sol, c'est-à-dire parvenir aux eaux souterraines, même en l'absence d'eau de percolation. Cependant, le processus est plus lent. La menace pour les eaux souterraines dépend en outre de leur sensibilité (vulnérabilité), notamment tributaire de la profondeur et de la perméabilité de l'aquifère.

Critère 8

Possibilité d'exploiter les eaux souterraines à l'état naturel : découlant de leur quantité et de leur qualité au niveau hydrogéologique et chimique

Le libellé «état naturel» se réfère à l'état sans pollution d'origine anthropique.

La possibilité d'exploiter des eaux souterraines, condition pour qu'un aquifère puisse être classé en secteur A_U particulièrement menacé, dépend d'aspects hydrogéolo-

giques, comme la quantité nécessaire pour qu'une exploitation entre en ligne de compte, ainsi que de la qualité chimique de l'eau naturelle ou accumulée («... elle doit être telle qu'après un procédé de traitement simple, l'eau respecte les exigences de la législation sur les denrées alimentaires.» [annexe 2, ch. 22, OEaux]). Le secteur A_U de protection des eaux englobe l'aquifère exploitable et les alentours nécessaires pour le protéger.

À propos des «autres secteurs» (üB): le fait qu'un site se trouve dans un «autre secteur» (üB), pas particulièrement menacé, est un argument clairement favorable dans la discussion au sujet de l'interruption d'un assainissement. Dans un tel secteur, on examine si le but de l'assainissement peut être adapté conformément à l'art. 15, al. 2, OSites. En raison des exigences moins restrictives dont il fait l'objet, il est possible d'augmenter la concentration visée par les mesures d'assainissement sans limiter la possibilité d'exploiter les eaux souterraines (subsiste cependant la restriction selon laquelle des eaux souterraines qui s'exfiltrent ne doivent pas polluer des eaux de surface de manière à ce que celles-ci ne satisfassent plus aux exigences posées à la qualité des eaux). Le but de l'assainissement est généralement atteignable après cette adaptation (accroissement de la valeur de concentration). L'assainissement est alors «interrompu» dans les faits, mais le but adapté est considéré comme atteint et l'assainissement comme achevé (plus aucun besoin d'assainir). La question de l'interruption d'un assainissement dans un «autre secteur» (üB) se pose donc rarement.

Concernant l'utilisation des eaux souterraines, voir également 4.5.

Critère 9

Possibilité d'exploiter les eaux souterraines découlant de la planification de la protection des eaux

À de nombreux endroits, la protection des eaux souterraines au moyen de mesures d'aménagement du territoire visant à garantir l'exploitation d'un captage d'eaux souterraines (délimitation de zones de protection) n'est plus possible à cause de l'existence d'installations. L'interruption d'un assainissement est davantage envisageable à ces endroits que là où il n'y a pas de conflit lié aux zones de protection.

Critère 10**Possibilité d'exploiter les eaux souterraines découlant de leur pollution de fond**

Pour ce critère, il faut considérer le même système que pour les critères 8 et 9, c'est-à-dire l'ensemble de l'aquifère concerné, et pas uniquement le secteur situé en aval à proximité du site.

Lorsqu'il n'y a aucune pollution de fond notable et que la pollution des eaux souterraines est essentiellement imputable à la source de pollution étudiée, il est judicieux de procéder à un assainissement, car il sera très bénéfique pour l'environnement.

Mais il existe, dans plusieurs régions densément peuplées de Suisse, des pollutions de fond considérables d'origine anthropique qui compliquent ou empêchent actuellement de capter de l'eau potable indépendamment de la pollution provenant de sites délimités. Lorsque la pollution de fond (par des HCC ou par d'autres substances) est déjà élevée et qu'il ne faut pas s'attendre à ce qu'elle baisse à moyen ou à long terme, l'interruption d'un assainissement entre davantage en ligne de compte, surtout lorsque la source de HCC étudiée contribue très peu à la pollution globale de l'aquifère.

Critère 11**Exploitation existante ou prévue des eaux souterraines**

On entend ici par exploitation un captage d'eaux souterraines d'intérêt public. Pour qu'une exploitation soit considérée comme prévue, il faut qu'elle fasse l'objet d'un projet concret et qu'un périmètre de protection des eaux souterraines ait été délimité. En revanche, l'argument selon lequel l'existence d'un secteur A_0 de protection peut toujours être invoquée pour signaler une exploitation ne doit pas être utilisé contre l'interruption d'un assainissement.

Critère 12**Importance des exploitations existantes**

Ce critère considère l'importance des exploitations existantes (captages) situées en aval du site pour l'alimentation en eau potable locale ou régionale. La question ne se limite pas au nombre d'habitants alimentés par le captage; elle concerne aussi d'autres aspects, comme la question de savoir si le captage d'eaux souterraines

concerné peut être remplacé par d'autres sources et quel serait l'investissement nécessaire, ou quelle est l'importance du captage dans l'alimentation en eau potable à l'échelle locale et régionale (plusieurs sources indépendantes pour assurer l'alimentation en eau potable en cas de défaillance de l'une de ces sources).

Critère 13**Influence du site sur les captages existants**

Ce critère considère les captages d'intérêt public selon l'OEaux. L'aquifère dans lequel se trouvent les captages fait en revanche l'objet des critères 8 à 11.

Pour ce critère, il faut dans la mesure du possible aussi examiner les trois sous-critères.

La LEaux interdit toute pollution des eaux (art. 3 et 6). S'agissant de l'eau potable, les exigences de l'annexe 2, ch. 22, OEaux relatives à l'eau souterraine utilisée comme eau potable ou destinée à l'être sont satisfaites si la concentration de HCC dans un captage d'eaux souterraines est inférieure à $1 \mu\text{g/l}$ (par type de substance). Dans ce cas, aucune autre mesure n'est requise en vertu de la législation sur la protection des eaux (à l'exception du CV, dont la concentration doit respecter la valeur maximale de $0,5 \mu\text{g/l}$ fixée dans l'OPBD).

En même temps, un site qui se trouve dans un secteur A_0 de protection des eaux doit être assaini en vertu de l'art. 9, al. 2, let. a, OSites si on constate la présence de substances provenant de ce site dans un captage d'eaux souterraines. Le but de l'assainissement consiste à éliminer les substances à l'origine du besoin d'assainir. Si des substances provenant du site parviennent encore dans le captage après la réalisation des mesures d'assainissement, ce site reste classé comme «nécessitant un assainissement». Si, après réalisation des mesures d'assainissement, les substances détectées dans le captage ne proviennent plus du site mais seulement du panache, on peut renoncer à entreprendre d'autres mesures d'assainissement. Le site doit alors faire l'objet d'une surveillance dans le cadre du contrôle des résultats en dernière phase de l'assainissement.

Si la concentration dans le captage présente une tendance à la hausse durant cette phase de surveillance,

on en déduit que le site renferme encore des pollutions jusqu'alors inconnues et l'assainissement doit être poursuivi. Si la concentration tend par contre à diminuer au fil des années, on peut admettre que la source de pollution a été éliminée. Le site est alors considéré comme assaini ; il est inscrit au cadastre comme site pollué ne nécessitant ni surveillance, ni assainissement (cf. point 5.5).

Les mesures ou les modélisations hydrogéologiques qui prévoient d'une manière plausible que la pollution au captage va diminuer à moyen ou à long terme peuvent être invoquées pour interrompre un assainissement.

Critère 14

D'autres biens à protéger (eaux de surface, sol, air) sont touchés significativement

Si d'autres biens à protéger sont touchés significativement, il y a lieu d'examiner d'autres critères, s'y rapportant, pour évaluer l'interruption d'un assainissement.

Critère 15

Probabilité de réussite

Ce critère a pour but d'examiner si, après la réalisation de premières mesures d'assainissement, une autre méthode permettrait d'obtenir de meilleurs résultats.

Pour que ce critère puisse être appliqué, il faut qu'une étude approfondie des variantes d'assainissement ait été réalisée auparavant (elle doit habituellement précéder la mise en œuvre des premières mesures). Dans certains cas, l'évolution de la situation peut commander de mettre à jour l'étude de variantes existante.

Critère 16

Travaux de construction

Ce critère peut uniquement être invoqué pour interrompre un assainissement s'il existe un projet concret de construction. Les travaux envisagés doivent être connus avec suffisamment de précision pour pouvoir évaluer s'il est possible de simplifier les mesures d'assainissement planifiées pour la suite. Par contre, les projets de construction prévus à moyen ou à long terme, ou dont on suppose seulement l'éventuelle réalisation, ne peuvent pas être invoqués pour interrompre un assainissement.

Par exemple, lorsqu'il est prévu de coupler à court ou à moyen terme un projet de construction avec des mesures d'assainissement supplémentaires qui amélioreront considérablement la situation (p.ex. excavation), il est pertinent de discuter de l'opportunité d'interrompre l'assainissement jusqu'à la réalisation du projet de construction. Il peut aussi arriver qu'un projet de construction facilite l'accès pour mener à bien des mesures d'assainissement. Dans ce cas également, il peut être judicieux d'interrompre l'assainissement jusqu'à la réalisation du projet de construction.

Toutes les décisions et tous les projets de construction respecteront l'art. 3 OSites.

Critère 17

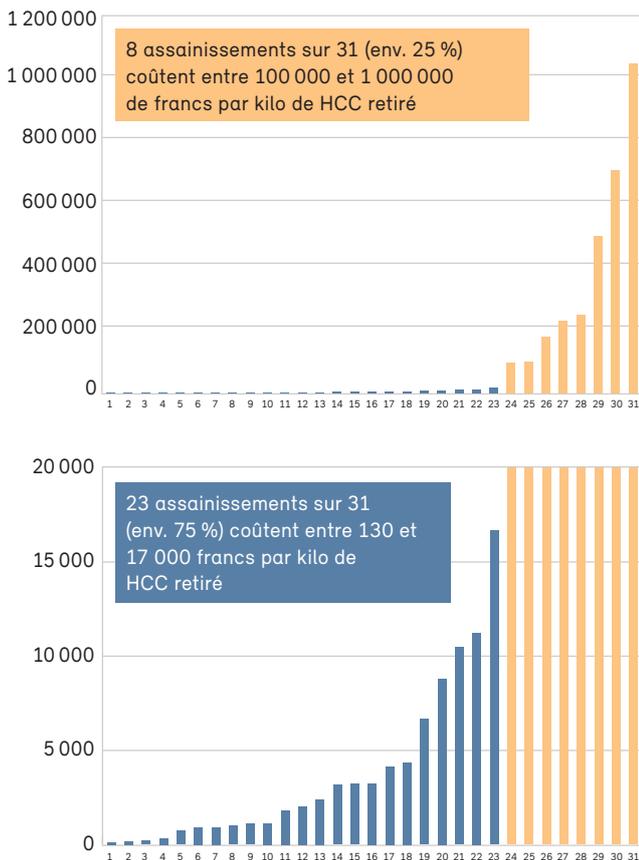
Rapport coût/utilité

La palette des coûts par quantité de HCC retirée fournit une image (non représentative) des dépenses imputables aux 31 assainissements de pollutions par des HCC achevés ou en cours en Suisse (diagrammes ci-dessous, avec en haut l'ordonnée allant jusqu'à 1,2 million de francs par kilo de HCC retiré et en bas, pour faciliter la lecture, une ordonnée limitée à une valeur maximale de 20 000 francs par kilo de HCC retiré. En abscisse, les assainissements sont classés par coût croissant).

Les données ci-dessus peuvent servir de point de départ pour évaluer un cas particulier. Mais on ne peut en tirer aucune « valeur limite » indiquant si des mesures d'assainissement sont proportionnées. Elles indiquent toutefois les domaines dans lesquels la proportionnalité des mesures doit être examinée de plus près.

Il est essentiel de relever que ce critère se réfère uniquement au coût de mesures d'assainissement **futurs**. C'est l'évaluation des variantes d'assainissement (voir critère 15) qui détermine quelle « nouvelle » méthode, assortie de son coût, il y a lieu d'apprécier. En règle générale, cette estimation reste sommaire. Mais cette démarche est admissible, car les graphiques ci-dessus n'illustrent également que des fourchettes de coûts possibles.

Figure 10
Échelle des coûts par kg de HCC éliminés lors de l'assainissement de 31 sites contaminés en Suisse



L'évaluation de ce critère concerne la nécessité de sécuriser le site pendant la durée d'interruption d'un assainissement. Le fait qu'une mesure de sécurisation soit difficile à mettre en œuvre pour des raisons techniques ou économiques parle plutôt en défaveur d'une interruption d'assainissement.

Critère 18

Incidence sur l'environnement et utilité écologique

La détermination et l'évaluation de l'incidence sur l'environnement et de l'intérêt écologique des mesures d'assainissement supplémentaires demandent généralement beaucoup de travail. Ce critère ne sera donc pas pris en considération si son étude ne peut pas être suffisamment approfondie.

Critère 19

Mesures de sécurisation nécessaires

Il faut bien différencier si une mesure de sécurisation est requise pendant la durée d'interruption d'un assainissement, c'est-à-dire en parallèle, ou si elle est appliquée comme mesure d'assainissement proprement dite (au terme de l'étude des variantes).

Répertoires

Liste des abréviations

AI

air interstitiel

A_U

Le secteur A_U de protection des eaux comprend les eaux souterraines exploitables ainsi que les zones attenantes nécessaires à leur protection.

BVH

bassin versant hydrogéologique

C

carbone

cDCE

voir Cis

Cis

1,2-dichloréthène, 1,2-dichloréthylène ou cDCE

Cl

chlorure

CV

chlorure de vinyle

EPI

essai de pompage intégral

HCC

hydrocarbures chlorés

HCCV

hydrocarbures chlorés volatils

HCHV

hydrocarbures halogénés volatils

LEaux

loi fédérale sur la protection des eaux; RS 814.20

LPE

loi sur la protection de l'environnement; RS 814.01

MS

matière solide

OEaux

ordonnance sur la protection des eaux; RS 814.201

OLED

ordonnance sur les déchets; RS 814.600

OPBD

ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public; RS 817.022.11

OSites

ordonnance sur les sites contaminés; RS 814.680

OTAS

ordonnance relative à la taxe pour l'assainissement des sites contaminés; RS 814.681

PCE

voir Per

Per

tétrachloréthène, tétrachloréthylène ou perchloréthylène ou PCE

PMES

points de mesure des eaux souterraines

S1, S2, S3

zones de protection des eaux souterraines

TCE

voir Tri

Tri

trichloréthène, trichloréthylène ou TCE

üB

secteur de protection des eaux en dehors du secteur A_U

valeur B

valeur correspondant aux exigences relatives aux déchets admis dans les décharges de type B selon l'annexe 5, ch. 2, OLED.

valeur K

valeur de concentration selon l'annexe 1 OSites

valeur U

valeur pour les matériaux non pollués, correspond aux exigences relatives aux matériaux d'excavation et de perçement selon l'annexe 3, ch. 1, OLED

 Z_U

L'aire d'alimentation Z_U couvre la zone où se reforment, à l'étiage, environ 90 % des eaux du sous-sol pouvant être prélevées au maximum par un captage.

Figures**Figure 1**

Schéma possible de diffusion des HCC Page 11

Figure 2

Application des critères de délimitation des sites Page 13

Figure 3

Illustration du modèle en deux étapes appliqué pour évaluer l'urgence d'un assainissement liée à la charge Page 22

Figure 4

Principe d'un essai de pompage intégral avec trois points de mesure des eaux souterraines (PMES) placés le long d'une section de contrôle (d'après Teutsch et al., 2000) Page 24

Figure 5

Marge de manœuvre pour s'écarter des buts d'assainissement Page 28

Figure 6

Processus d'évaluation des exigences pour une prolongation du délai d'assainissement Page 32

Figure 7

La phase de surveillance effectuée à la fin de l'assainissement montre que la concentration dans le captage diminue au fil du temps Page 34

Figure 8

La phase de surveillance effectuée à la fin de l'assainissement montre que la concentration dans le captage stagne ou augmente au fil du temps Page 34

Figure 9

Voies de dégradation des HCC Page 35

Figure 10

Échelle des coûts par kg de HCC éliminés lors de l'assainissement de 31 sites contaminés en Suisse Page 43

Tableaux**Tableau 1**

Critères de délimitation des sites dans le cas des pollutions aux HCC Page 11

Tableau 2

Critères pour la radiation du cadastre Page 13

Tableau 3

Exigences minimales pour envisager l'interruption d'un assainissement Page 29

Tableau 4

Exigences minimales pour la prolongation du délai d'assainissement pour les sites contaminés au CV Page 31

Tableau 5

Critères à remplir obligatoirement pour la prolongation du délai d'assainissement pour les sites contaminés au CV Page 36

Littérature

- Pierre TSCHANNEN, dans: Vereinigung für Umweltrecht (éd.), Kommentar zum Umweltschutzgesetz, Kommentierung zu Art. 32c USG, 2^e édition 2004
- Investigation des sites pollués par des hydrocarbures chlorés (HCC). Rapport d'experts sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), octobre 2016
- OFEFP (éd.) 2001 : Établissement du cadastre des sites pollués. L'environnement pratique n° 3411 128 p.
- Guide des hydrocarbures chlorés (HCC): Propriétés et comportement dans l'environnement, ChloroNet, 2008
- OFEFP (éd.) 2003: Prélèvements d'eau souterraine en relation avec les sites pollués. L'environnement pratique n° 3413 28 p.
- OFEV (éd.) 2017 : Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués. État 2017. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1715: 81 p.
- Gestion des pollutions résiduelles aux HCC – Critères, possibilités et limites. Groupe de travail ChloroNet chargé des pollutions résiduelles – Rapport d'experts sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), août 2017
- OFEFP (éd.) 2000: Cahier des charges pour l'investigation technique des sites pollués. L'environnement pratique n° 3406, 24 p.
- Application de considérations sur la charge aux sites pollués par des hydrocarbures chlorés. Rapport d'experts du groupe de travail Charge de ChloroNet sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), octobre 2014
- Réalisation d'essais de pompage intégraux (EPI) en Suisse. Rapport d'experts du groupe de projet ChloroNet EPI sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), novembre 2016
- Teutsch, G., Ptak, T., Schwarz, R., Holder, T., 2000: Ein neues integrales Verfahren zur Quantifizierung der Grundwasserimmission, Teil 1: Beschreibung der Grundlagen. Grundwasser-Zeitschrift der Fachsektion Hydrologie, Band 5, Heft 4, S. 170-175.
- OFEV (éd.) 2018: Besoin, buts et urgence de l'assainissement. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique no 1828: 26 p.
- OFEV (éd.) 2014: Module «Évaluation des variantes d'assainissement» de l'aide à l'exécution «Assainissement des sites contaminés». Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1401: 34 p.

