

Code de Bonnes Pratiques Auxiliaire 1

Traitement en surface de l'eau pompée

Bruxelles Environnement

Contenu

1	Introduction.....	3
2	Description de la technique et des principes technologiques mis en œuvre	4
2.1	Description générale.....	4
2.2	Description des techniques de traitement les plus courantes.....	4
2.2.1	Le séparateur huile – eau	4
2.2.2	Les colonnes de stripping.....	5
2.2.3	Filtre à sable.....	7
2.2.4	Traitement biologique à l'aide de biomasse fixée	8
2.2.5	Filtration sur charbon actif.....	11
2.2.6	Les résines échangeuses d'ion.....	13
2.2.7	La filtration sur membrane	15
2.2.8	Précipitation	17
2.2.9	Coagulation – Flocculation.....	18
2.2.10	L'oxydation chimique.....	19
3	Description des variantes – agencement des différentes techniques.....	22
4	Objectifs poursuivis : panache versus noyau	23
5	Examen a priori de la faisabilité technique	24
5.1	Choix des techniques a priori les plus appropriées compte tenu des polluants présents... 24	
6	Examen spécifique de la faisabilité du traitement.....	25
6.1	Paramètres à mesurer	25
6.2	Nécessité d'essais préalables au laboratoire.....	27
6.3	Nécessité d'un test pilote	28
7	Description d'une installation type.....	29
8	Descriptif de l'installation qui sera mise en place	30
9	Limitation des incidences du projet sur l'environnement : odeurs, bruits, poussières,	34
9.1	Points à prendre en compte	34
9.2	Risques liés à la nature dangereuse ou toxique des réactifs utilisés.....	34
9.3	Nuisances pour la qualité de l'air	35
9.4	Risques d'incendie et explosion	35
9.5	Risques de dissémination des composés dangereux et toxiques.....	35
9.6	Nuisances acoustiques.....	35
9.7	Risques pour les installations de captage voisines.....	36
9.8	Conformités aux cadres légaux existants.....	36
10	. Supervision du traitement	37
10.1	Mesures de surveillance : dispositif type	37
10.2	Mesures de supervision : paramètres de supervision du traitement et fréquences.....	37
11	. Rapportage, optimisation et mesures correctives.....	42
11.1	Rapportage.....	42
11.2	Mesures correctives et optimisation	43
12	Santé, sécurité et organisation.....	44
12.1	Check liste succincte pour les entrepreneurs.....	44
12.2	Check listes succinctes pour les experts en pollution du sol	46
13	. Sources bibliographiques.....	49

1 Introduction

Ce code de Bonnes Pratiques concerne une technique d'intervention qualifiée d'auxiliaire, en ce sens qu'elle n'est pas utilisée seule mais en complément d'autres techniques d'intervention visant, elles, à assainir une pollution du sol et/ou des eaux souterraines ou à gérer les risques qui découlent de cette pollution. La technique auxiliaire porte sur le traitement, à la surface du sol, des eaux pompées, lors de la mise en œuvre du traitement d'une tache de pollution.

Cette étape de traitement accompagne les interventions de traitement faisant appel aux techniques suivantes :

- Pompage des fluides dans la zone saturée du sol ;
- Oxydation chimique et atténuation stimulée in-situ accompagnée d'un pompage de l'eau souterraine (recirculation) ;
- Pompage de gaz dans la couche insaturée du sol accompagné d'un rabattement de la nappe.

Les eaux pompées proviennent de la tache de pollution ou de ses alentours immédiats et sont généralement polluées de sorte qu'elles requièrent un traitement avant rejet ou infiltration dans le sol. Les polluants présents sont soit les polluants dont les teneurs justifient l'intervention, soit leurs produits de dégradation ou bien encore d'autres composés ou éléments dont les teneurs mesurées dans l'eau pompée sont en dépassement par rapport aux normes en vigueur en Région de Bruxelles-Capitales pour un rejet dans les eaux de surface ou le réseau d'égouttage public ou pour l'infiltration dans le sol (>NA).

Le traitement en surface du sol de l'eau pompée peut donner naissance à des gaz et vapeurs pollués nécessitant un traitement avant rejet dans l'atmosphère. Ce traitement de gaz fait l'objet d'un Code de Bonnes Pratiques auxiliaire distinct (Code de Bonnes Pratiques auxiliaire 2 : traitement hors sol des gaz pompés lors d'un [traitement](#)).

Remarque

L'ordonnance du 5 mars 2009 relative à la gestion et à l'assainissement des sols pollués et ses arrêtés d'exécutions stipulent dans plusieurs articles le respect des codes de bonnes pratiques. En ce qui concerne les codes de bonnes pratiques relatifs au traitement, l'expert en pollution du sol agréé peut, dans certains cas, par exemple sur proposition de l'entrepreneur en assainissement, déroger aux dispositions reprises dans les codes de bonnes pratiques, moyennant une argumentation dûment fondée. Dans ce cas, Bruxelles Environnement se réserve à tout moment le droit de demander des informations complémentaires ou de demander des investigations de terrains supplémentaires, sur base des dispositions reprises dans les codes de bonne pratique, s'il le juge nécessaire et pertinent.

Nous précisons que ce code est d'application pour tous travaux impliquant un traitement par assainissement ou par gestion de risque, y compris les traitements de minime importance, les traitements de durée limitée, les mesures de suivi et les mesures d'urgence .

2 Description de la technique et des principes technologiques mis en œuvre

2.1 Description générale

Cette technique auxiliaire d'intervention vise à traiter l'eau pompée de manière à rencontrer les exigences en vigueur en Région de Bruxelles-Capitale, tant pour les caractéristiques physico-chimiques que pour les teneurs en polluants, pour le rejet dans les eaux de surface et le réseau d'égouttage public ou pour l'infiltration dans le sol.

Pour rappel, la qualité de l'eau traitée après passage dans la station de traitement doit être conforme aux recommandations de Bruxelles Environnement ([code de bonne pratique 'Normes de rejet dans le cadre des travaux d'assainissement et des mesures de gestion du risque'](#)) spécifiant que les teneurs mesurées doivent être inférieures aux normes d'assainissement de [l'AGRBC du 29/03/2018](#) déterminant les normes d'intervention et les normes d'assainissement.

Le traitement de l'eau pompée fait appel à différentes techniques utilisées seules (rarement) ou de manière modulaire formant ainsi une chaîne de modules de traitement successifs dont l'agencement et la complexité dépend de la composition de l'eau à traiter.

2.2 Description des techniques de traitement les plus courantes

2.2.1 Le séparateur huile – eau

Cette étape de traitement est utilisée en présence d'une couche de produit pur surnageant.

Le système le plus couramment utilisé est le séparateur avec filtre à coalescence. Il consiste en un réservoir divisé en plusieurs compartiments :

- Premier compartiment (cuve de débouage) où se produisent la sédimentation des particules solides et une première séparation du produit surnageant ;
- Deuxième compartiment où les gouttelettes d'huiles entrent en contact avec un filtre à coalescence et s'organisent en plus grosses gouttes ;
- Un troisième compartiment (éventuel) où une ultime séparation peut prendre place ;
- Après passage sous une paroi siphonide, l'eau traitée est évacuée du séparateur.

Les autres types de séparateurs utilisés sont le séparateur gravitaire simple et le séparateur lamellaire.

Dans un séparateur, le ratio hauteur/largeur est au moins égal à 0,3. Le temps de résidence minimum de l'eau est de 2.5 à 12.5 minutes.

Les séparateurs peuvent être utilisés pour la récupération d'une phase non miscible à l'eau dans la mesure où la vitesse de remontée des gouttelettes d'huile (ou autre phase non miscible) est supérieure à la vitesse de passage du liquide dans le séparateur.

Lorsque la phase non miscible est présente sous forme de très fines gouttelettes formant une émulsion, elle ne peut pas être récupérée à l'aide d'un séparateur de type non-coalescent.

Les séparateurs gravitaires peuvent prendre en charge des teneurs maximales en huiles dans les eaux à traiter allant jusqu'à 100 mg/l. Pour les séparateurs lamellaires et à coalescence, les teneurs maximales en huiles acceptables sont respectivement de 20 mg/l et de 5 à 20 mg/l.

Les rendements en termes de quantités d'huiles séparées sont de 50 à 90 % de la masse initialement présente. Les facteurs influençant les rendements sont : la surface et les caractéristiques propres du séparateur, les débits et les propriétés physico-chimiques des composés à séparer (densité, solubilité, ...).

Contrainte

Il est préférable que la teneur en matières en suspension soit inférieure à 1 % (vol/vol).

Techniques associées

La séparation huile-eau ne requiert généralement pas la mise en œuvre d'une étape préalable. Elle est davantage elle-même considérée comme un module préliminaire. Dans certains cas, tels que la présence d'une phase non miscible sous forme d'émulsion (très fines gouttelettes), la séparation peut être couplée à une étape de flottation.

Fiabilité

Les séparateurs sont considérés comme des outils simples. La seule précaution à prendre est la vidange régulière de la phase surnageante.

Sensibilité

Vu l'absence de composante mécanique, les séparateurs sont peu susceptibles de tomber en panne et ne réclament pas beaucoup d'entretien.

Impact sur l'environnement

La phase surnageante séparée est à considérer comme un déchet dangereux, à transporter hors du site pour une prise en charge : recyclage, valorisation, traitement. En cas de présence de polluants volatiles dans les eaux à traiter, l'étape de séparation peut donner lieu à des vapeurs devant être pompées et ensuite traitées avant leur rejet (filtration sur charbon actif par exemple).

2.2.2 Les colonnes de stripping

Cette technique de traitement repose sur la mise en place d'un échange intensif entre l'eau à traiter et l'air de manière à ce que ce dernier emporte les composés volatils. Cet échange peut être assuré par une injection simultanée de l'air et de l'eau en sommet de colonne ou au contraire par circulation à contrecourant de l'air, injecté cette fois par le bas.

Les colonnes de stripping sont de deux types :

- Colonnes à plateaux : colonnes équipées de plateaux perforés ou colonnes avec un ou deux fonds perforés (colonnes à plaque) ;
- Colonnes garnies : milieu structuré disposé de manière homogène.

Les colonnes garnies sont meilleures marché (selon le type de matériaux de remplissage), les surfaces développées par unité de volume sont supérieures de sorte que le temps de résidence nécessaire est moins élevé. Les colonnes garnies entraînent une perte de charge moins élevée de sorte qu'à volume d'air injecté équivalent, la dépense énergétique est moindre. Elles nécessitent un ratio air/eau à traiter moins élevé. Leur nettoyage est cependant plus difficile. En cas de débit d'air relativement important, le risque de création de passages préférentiels (pertes d'efficacité) dans les colonnes garnies est à prendre en compte.

Lors du choix d'une colonne de stripping durant la rédaction du projet, **ou avant l'exécution de travaux ne nécessitant pas de projet spécifique** les paramètres suivants sont à prendre en compte :

- Concentrations en polluants à éliminer dans l'eau ;
- La qualité souhaitée de l'eau traitée ;

- Les conditions de T° et de pH qui déterminent la volatilité du polluant ;
- Le débit d'eau à traiter ;
- La constante de Henry des polluants ;
- La surface de contact entre l'eau et l'air (spécifique à la colonne) ;
- La hauteur de la colonne (entre 1 et 5 m) ;
- Le diamètre de la colonne (entre 0,5 et 2 m).

En cas de mélange de polluants, les conditions de traitement doivent être adaptées au polluant le plus difficile à traiter.

Domaine d'application

Le stripping est applicable aux polluants volatils dont la constante d'Henry est supérieure à 2,9 à $4,1 \times 10^{-5}$ (sans dimension) et dont la pression de vapeur est supérieure à 70-100 Pa. Dans ce groupe, on identifie les BTEX, les solvants chlorés et les huiles minérales volatiles. Des composés inorganiques tels que l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène peuvent également être extraits de l'eau pourvu que les conditions de pH soient adaptées. Cette technique n'est pas adaptée pour l'enlèvement de composés organiques lourds et peu volatils (PCB, dioxines et pesticides) et pour les composés métalliques inorganiques.

Les rendements rapportés sont typiquement supérieurs à 90 % pouvant atteindre 99 % en conditions favorables et en présence de polluants volatils. Pour les VOCLs, des teneurs dans les effluents $< 1 \mu\text{g/l}$ peuvent être obtenues. Les valeurs minimales obtenues sont de $2 \mu\text{g/l}$ pour les BTEX et $100 \mu\text{g/l}$ pour les huiles minérales volatiles. En principe, des eaux portant une charge polluante allant d'une dizaine de $\mu\text{g/l}$ à une dizaine de mg/l peuvent être traitées, si nécessaire, avec des colonnes de stripping établies en série. Une charge en polluant dissous de 100mg/l est souvent considérée comme un maximum.

Les facteurs qui influencent les rendements sont :

- La constante d'Henry des polluants ;
- Les conditions de traitement : surface de contact entre l'air et l'eau, temps de contact et vitesse de passage de l'eau polluée ;
- Le ratio entre débit de l'air et débit de l'eau ;
- Teneurs en polluants de l'eau ;
- Les variations de débit et des teneurs en polluants de l'eau ;
- La T° et le pH.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

Il est préférable que la teneur en matières en suspension soit inférieure à 1 à 5 mg/l . La formation de précipités (oxyde de fer et manganèse) doit être évitée car ceux-ci limitent la surface d'échange et adsorbent les polluants. Un traitement du fer doit intervenir en préalable si les teneurs dépassent 2mg/l (colonnes à plateaux) et 5mg/l (colonnes à plaque). Le pH doit être compris entre 5 et 8 de manière à éviter les dépôts de calcaire et la corrosion. La présence de composés huileux (dans lesquels les polluants volatils sont dissous) interfère avec le stripping. Les teneurs en méthanol, acétone et méthyl-éthyl-cétone ne peuvent pas dépasser respectivement 3, 0,5 et 1g/l étant donné la réduction de la constante de Henry effective pour les polluants à traiter, que la présence de ces composés induit.

Techniques associées



Les prétraitements mis en œuvre sont :

- Elimination des matériaux en suspension par coagulation/floculation suivie d'une sédimentation ;
- Elimination du fer par aération suivie d'une sédimentation ou filtration ;
- Elimination d'une phase huileuse par passage dans un filtre à huile.

En cas de variations des teneurs à traiter et des débits, le passage dans un bassin tampon est recommandé.

Les post-traitements peuvent consister en : traitement de l'air sortant de la colonne (par filtre biologique ou filtre à charbon actif; si nécessaire, un traitement de finition pour l'eau par passage sur charbon actif.

Fiabilité

Le stripping est une technique largement éprouvée. En cas de basse température extérieure, le rendement peut être préservé par une bonne isolation technique des conduites d'amenée et une recirculation de l'air utilisé après traitement sur filtre à charbon actif. Le paramètre principal à mesurer est la perte de charge lors du passage de l'air.

Sensibilité

Les stripper sont considérés comme une technique peu sensible pourvu que les étapes de prétraitement aient été réalisées. En cas d'encombrement (croissance bactérienne, matières sédimentées, précipités de fer et de calcaire), un rinçage à l'acide est nécessaire. En conditions normales (teneurs moyennes en composés inorganiques) un entretien est nécessaire au bout de 18 mois. Cette fréquence peut être ramenée à 6 mois en cas de conditions défavorables : par exemple, dureté de l'eau > 300 mg/l (exprimée en CaCO₃).

Impact sur l'environnement

- Impact sur les eaux : en cas de variations des teneurs à traiter, une étape de finition apparaît nécessaire pour garantir la qualité des eaux de rejet ;
- Impact sur la qualité de l'air : l'air issu de la colonne doit généralement être traité (passage sur un filtre biologique ou à charbon actif) de manière à rencontrer les normes de rejet en vigueur ;
- Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières sédimentées, ...) et les solutions du rinçage acide ;
- Nuisances : le bruit causé par le ventilateur (ou pompe à air) peut être géré par la mise en place en espace confiné. Les odeurs peuvent être réduites par passage de l'air utilisé sur un filtre biologique.

2.2.3 Filtre à sable

Cette technique est utilisée pour l'élimination de contaminants tels que la biomasse, les phosphates, le fer, le manganèse, et partiellement les métaux lourds. Elle implique le passage de l'eau par gravité au travers d'un lit de filtration composé de sable (ou gravier) ou fait de plusieurs couches superposées, de granulométries différentes. Les particules en suspensions sont arrêtées (adsorption ou piégeage). L'addition d'un agent coagulant peut améliorer les rendements.

Périodiquement, lorsque le gâteau de filtration devient trop épais, un nettoyage du filtre par lavage à contre-courant doit intervenir. L'eau de lavage est envoyée vers un bac à sédimentation avant traitement ultérieur.

De manière à assurer une filtration continue, il est courant de placer deux filtres en parallèle. Des filtres à sable opérant en continu sont également disponibles.

La vitesse hydraulique de passage de l'eau au travers du filtre varie de 3 à 20 m³/m²/heure. 10 m³/m²/h étant une valeur moyenne. Les filtres en continu présentent une capacité de 5 à 10 m³/m²/h. L'épaisseur des filtres est de l'ordre de 1,5 m.

Domaine d'application

L'utilisation principale est la déferrisation. Les métaux lourds peuvent également être extraits après précipitation suite à l'addition de soude ou de sulfure. Certains filtres en continu sont inoculés avec de la biomasse et sont utilisés pour l'enlèvement des nitrates et des métaux lourds.

Les rendements rapportés varient de 50 à 95 %. Les matières en suspension peuvent être séparées jusqu'à atteindre des teneurs de 2,5 à 5 mg/l. Les facteurs affectant le rendement d'un filtre sont la surface et l'épaisseur de celui-ci. L'addition d'agents coagulants améliore le rendement, surtout si les flocons du floculat sont de grande taille.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

Pour l'enlèvement du fer, ce dernier doit être sous forme trivalente. Des teneurs en fer aussi élevées que 15 mg/l peuvent être traitées. Pour des teneurs supérieures, il est préférable d'effectuer un prétraitement par sédimentation/précipitation.

Techniques associées

Les filtres à sable sont le plus souvent utilisés comme étape de prétraitement. Lorsque le but visé est la déferrisation, une étape préliminaire d'aération est souvent requise.

Les filtres à sable sont également utilisés en post-traitement pour l'enlèvement des matières en suspension et des flocons d'oxyde de fer, après traitement de l'eau par précipitation, coagulation, floculation et sédimentation.

Fiabilité

Le filtre à sable constitue une technologie très simple. L'inconvénient majeur repose sur la nécessité d'un lavage à contre-courant produisant des quantités importantes de liquides à traiter (sédimentation suivie par un nouveau passage sur dans le filtre).

Sensibilité

Les filtres à sable sont une technique peu sensible. Un colmatage suite au développement de biomasse peut se produire sous certaines conditions.

Impact sur l'environnement

Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières sédimentées, ...).

2.2.4 Traitement biologique à l'aide de biomasse fixée

Cette technique repose sur la dégradation par les microorganismes des contaminants organiques aboutissant à la production de CO₂, d'eau et de composés minéraux. D'une manière générale,

cette dégradation prend place en conditions aérobies en système ouvert ou en conditions anaérobies au sein des réacteurs

A l'inverse des systèmes d'épuration par boues activées, le système à biomasse fixée utilise un support à surface spécifique importante afin de supporter la biomasse et un biofilm de microorganismes.

Différents systèmes sont utilisés :

- Biorotor où la biomasse est alternativement en contact avec l'air ambiant et l'eau à traiter ;
- Les filtres statiques, de type sec ou de type immergé, isolés ou en compartiments successifs ;
- Les lits de filtration dynamique, perpétuellement en mouvement.

Les facteurs importants régissant le fonctionnement des filtres à biomasse fixée sont les suivants :

- Caractéristiques des polluants ;
- La charge organique ;
- Le débit à traiter ;
- Les teneurs à atteindre au terme du traitement.

Les biorotors sont capables de prendre en charge des débits de 0,1 m³/m² de support/jour. La charge organique prise en charge dépend du type de polluant. Elle est de l'ordre de 20 à 50 mg/m²/j. Pour les filtres biologiques statiques, les capacités de prise en charge sont 10 fois supérieures.

Domaine d'application

Compte tenu du temps nécessaire à la biomasse pour s'adapter aux conditions du traitement, les filtres biologiques ne seront pas utilisés pour des durées de traitement inférieures à 3 mois. Le temps de séjour de l'eau à traiter (en présence d'oxygène) doit être de l'ordre de 2 heures.

Les huiles minérales sont considérées comme faiblement à facilement biodégradables. Les VOCL sont classés comme difficilement biodégradables (en conditions aérobies), de même que les HAP. Les phénols, les phtalates, les alcools, ... sont aisément dégradés de manière biologique. Certaines technologies innovantes (PACT ou Powdered Activated Carbon treatment) permettent d'augmenter l'efficacité du traitement en augmentant le temps de résidence des polluants à dégrader suite à leur adsorption.

Les rendements rapportés pour les huiles minérales varient entre 50 et 99 % tandis que pour les BTEX ils se situent entre 85 et 99 %.

Le **tableau 1** présente les teneurs des eaux traitées pour trois familles de polluants en conditions moyennes et optimales.

Tableau 1 : teneurs attendues dans les eaux résultant du traitement, en conditions moyennes et optimales

Famille de polluants	Teneurs de l'effluent en conditions normales µg/l	Teneurs de l'effluent en conditions optimales µg/L
Huiles minérales	< 100	50
BTEX	20 – 50	2
HAP	10 – 100	<0.1

(selon OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

Les biofilms travaillent de meilleure façon lorsque la DCO (demande chimique en oxygène) est inférieure à 400 mg/l. Les teneurs maximales acceptables de l'eau à traiter sont de l'ordre de 10 à 20 mg/l pour les huiles minérales et de 10 à 15 mg/l pour les BTEX.

Les facteurs influençant le rendement sont :

- Le type et les teneurs des polluants à traiter ;
- La DCO ;
- Les variations des teneurs en polluants et des débits ;
- Les teneurs en nutriments ;
- La biodisponibilité des polluants dans l'eau ;
- Le temps de résidence dans le réacteur ;
- La surface disponible pour le biofilm ;
- La température.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

L'eau à traiter doit garantir l'existence de conditions favorables à la croissance des microorganismes : présence de nutriments et d'éléments traces. Le ratio DBO (demande biologique en oxygène) : N : P (en mg/l) doit être proche de 100 : 10 : 1 (100 : 5 : 1, selon d'autres sources). Le pH doit être proche de la neutralité et l'eau doit être exempte de composés toxiques pour les micro-organismes (métaux lourds et fortes teneurs en hydrocarbures chlorés). La température optimale se situe entre 20 et 40°C (la vitesse de dégradation est divisée par 2 par chaque chute de 10°C).

Les matériaux en suspension ne doivent pas être trop importants de manière à éviter le colmatage du matériau support. A cet égard, les teneurs en fer ne doivent pas dépasser 10 à 25 mg/l (5 mg/l selon d'autres sources).

Techniques associées

Les prétraitements mis en œuvre sont : adaptation du pH, déferrisation (aération + filtre à sable), enlèvement des matériaux en suspension (bassin de sédimentation), élimination des substances toxiques (précipitation des métaux), élimination des composés volatiles peu biodégradables tels que les VOCL par stripping. En cas de variations des teneurs à traiter et des débits, le passage dans un bassin tampon est recommandé.

Les post-traitements peuvent consister en : élimination de la biomasse entraînée (cuve de sédimentation) ; si nécessaire, un traitement de finition par passage dans un filtre à charbon actif.

Fiabilité

Cette technique est connue pour sa grande fiabilité une fois la période d'installation dépassée. En particulier pour le biorotor, les pics de charge polluante et de débit ainsi que la présence accidentelle de composés toxiques doivent être évités. La protection contre le gel doit être assurée.

Sensibilité

Les paramètres principaux sont la disponibilité en O₂, le pH et la charge en boues.

Impact sur l'environnement

- Impact sur les eaux : en cas de présence de polluants non dégradés résiduels, une étape de finition apparaît nécessaire pour garantir la qualité des eaux de rejet. Une partie de la biomasse peut être entraînée ;
- Impact sur la qualité de l'air : en présence de polluants volatils (BTEX), un système d'extraction et de traitement de l'air doit être mis en place ;
- Déchets à prendre en charge : la biomasse entraînée par l'eau, les boues (oxydes, matières sédimentées, ...) issues des prétraitements ;
- Nuisances : le bruit causé par la partie mécanique est généralement limité. Des odeurs (H₂S) peuvent être produites en cas de surcharge. En ce cas, un système d'extraction et de traitement de l'air doit être mis en place.

2.2.5 Filtration sur charbon actif

Cette technique s'appuie sur le grand pouvoir adsorbant du charbon actif en raison de sa surface spécifique élevée. Elle est applicable à un grand nombre de composés organiques.

Une installation de filtration comporte toujours deux filtres de charbon actif disposés en série, de sorte que le deuxième puisse assurer la filtration en cas de saturation du premier. Après saturation, le charbon actif peut être régénéré par oxydation des composés adsorbés au four. Cette opération entraîne la perte de 5 à 10 % du charbon actif et une baisse d'efficacité.

D'autres formes d'utilisation du charbon actif sont les lits fluidisés (particules de charbon en suspension dans un courant d'eau à traiter) et les lits pulsés (flux d'eau interrompus).

Le recours à la filtration sur charbon actif implique une estimation des quantités de charbon nécessaires. Les paramètres à prendre en compte sont : la charge polluante de l'eau (ou du gaz) à traiter, le temps de contact, la capacité d'adsorption du charbon et les fréquences de régénération.

Les filtres présentent généralement un ratio hauteur/diamètre de 2/1. Les vitesses hydrauliques de filtration sont en général de 0,5 à 4 mm/s. Ils sont dimensionnés de telle sorte que leur remplacement intervienne à une fréquence maximale de 1 fois/3 mois.

Domaine d'application : cette technique est appliquée pour l'enlèvement d'un grand nombre de composés organiques et, dans une moindre mesure, les molécules de complexes organo-métalliques. Compte tenu des coûts de fonctionnement élevés, cette technique est principalement utilisée pour les phases de finition lorsque la charge polluante est faible ou pour les traitements de courte durée ou de faible débit. Le chlorure de vinyle est peu efficacement adsorbé sur le charbon actif.

Les rendements

Les filtres à charbon actif sont adaptés pour traiter des charges polluantes allant de 10 ppb à 10 ppm. La capacité d'une colonne pour un traitement particulier dépend du type de charbon, du type de polluant, des teneurs présentes et de la température. Cette capacité fluctue entre approximativement 6 et 10 % de la masse de charbon (de 0,5 à 7 %, selon d'autres sources). Le fonctionnement précis peut faire l'objet de tests de laboratoires (pour autant que ceux-ci reproduisent les conditions réelles d'utilisation sur le terrain).

La capacité d'adsorption d'un filtre q_e (exprimé en kg de polluant adsorbé/kg de charbon actif) est fréquemment estimée à l'aide de l'isotherme de Freunlich :

$$q_e = Kc^{1/n} \quad \text{où}$$

K et n = constantes empiriques dépendant du type de charbon et de polluant (en m³/kg pour K et sans unité pour n)

c = teneur en composé à adsorber dans l'eau en contact avec le charbon (kg/m³)

Les valeurs de ces constantes pour un charbon à base de coques de coco, pour quelques polluants sont rapportées dans le **tableau 2**.

Tableau 2 : valeurs des constantes de Freundlich pour quelques polluants sur charbon à base de coques de coco.

Contaminant	K	1/n
VOCL	17	0.64
BTEX	36	0.57
Huile minérale	100	0.5
HAP	245	0.5
MTBE	11	0.5

(selon OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

De manière pratique, les degrés de charge suivants sont fréquemment rapportés :

Tableau 3 : capacités d'adsorption possibles (g polluant/kg charbon) pour différents contaminants

Teneurs dans l'eau à traiter µg/l	100 µg/l	1 000 µg/l	10 000 µg/l
VOCI	3 – 5 g/kg	10 – 20 g/kg	50 – 75 g/kg
BTEX	8 -12 g/kg	30 – 40 g/kg	100 – 130 g/kg
Huile minérale	25 – 35 g/kg	80 – 100 g/kg	250 – 300 g/kg
HAP	70 – 80 g/kg	200 – 250 g/kg	500 – 750 g/kg
MTBE	5 g/kg	11 g/kg	24 g/kg

(selon OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

N.B. Les teneurs élevées en huiles minérales et HAP de l'eau à traiter, bien supérieures aux valeurs de solubilité, décrivent des teneurs dans des émulsions ou des phases non dissoutes. Les degrés de charge rapportés ne correspondent pas à des quantités adsorbées prévues par les isothermes de Freundlich mais correspondent à des dépôts.

Lorsque les circonstances sont idéales, les concentrations des effluents peuvent atteindre des niveaux aussi faibles que ceux rapportés dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : concentration atteintes à la sortie de filtres à charbon actif en conditions idéales

Composé polluant	Teneurs dans l'effluent µg/l
BTEX	<2
Huile minérale	<150
HAP	<0.1
Naphtalène	<0.2
Chlorobenzène	<0.5

(selon OVAM : Code van Goede praktijk – pump and treat , deel 2, 2002)

Les facteurs affectant le rendement sont : la quantité et le type de charbon actif (capacité d'adsorption pour le contaminant considéré), les teneurs présentes dans l'eau ainsi que le temps de contact. Ce dernier devrait être d'au moins 10 à 20 minutes pour une vitesse de passage de 10 à 15 m/heure).

La polarisation des composés (ionisation) est défavorable à l'adsorption de sorte que le pH exerce une influence.

La volatilité des composés est également un facteur défavorable. En cas de pollutions mixtes, une compétition entre les polluants pour les sites d'adsorption peut prendre place.

On peut classer les polluants par ordre d'affinité croissante pour le charbon actif comme suit : Phénols et VOCl → composés aromatiques volatiles → naphthalène → fractions lourdes des huiles minérales et HAP.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

Les particules non dissoutes (sable et humus) ont tendance à colmater les filtres. Des teneurs supérieures à 50mg/l doivent être évitées.

La précipitation d'oxyde de fer et de calcaire peut être une autre source de colmatage. Les teneurs en fer doivent être inférieures à 5mg/l tandis que celles en calcium ou magnésium doivent rester < 50mg/l.

Des teneurs en huiles et graisses supérieures à 10 mg/l impliquent la réalisation d'un prétraitement. Le pH doit également être contrôlé de manière à éviter l'ionisation des composés polluants.

Techniques associées

La filtration sur charbon actif est principalement utilisée en phase de finition. Un prétraitement est requis pour éliminer les matières en suspension (si > 1mg/l), au moyen d'une filtration préalable (filtre à sable par exemple). Les composés huileux peuvent être éliminés par passage dans un filtre à huile.

En cas de variations importantes de teneurs, il est recommandé d'utiliser un bassin tampon de manière à éviter la désorption des polluants lors des épisodes de basses teneurs.

Compte tenu des très faibles teneurs obtenues à la sortie du filtre, il n'est généralement pas nécessaire d'adjoindre un post-traitement des effluents.

Fiabilité

Le filtre à charbon actif est une technique largement éprouvée et fiable, réclamant peu d'entretien.

Sensibilité

Les filtres à charbon actif sont sensibles au colmatage (matières en suspensions, dépôts, ...). La croissance de micro-organismes est bénéfique au résultat du traitement mais cette biomasse empêche l'adsorption des composés non dégradés.

A la longue, le passage de l'eau peut entraîner une érosion des particules de charbon, qui sont alors susceptibles d'être entraînées dans l'effluent.

Impact sur l'environnement

Déchets à prendre en charge : le charbon utilisé peut être soit régénéré par oxydation à haute température, soit détruit par incinération. Les boues (oxydes, matières sédimentées, ...) issues du prétraitement sont également à prendre en charge.

2.2.6 Les résines échangeuses d'ion

Cette technique repose sur l'échange des ions adsorbés sur une surface fixe avec les contaminants ionisés présents dans l'eau à traiter. Les surfaces d'échange sont principalement des résines synthétiques présentant des groupes fonctionnels :

- Les résines cationiques : groupes fonctionnels acides échangeant des protons ou des ions Na^+ utilisées pour l'extraction des métaux lourds. Distinction est faite entre échangeurs forts et faibles ;
- Les résines anioniques : groupes fonctionnels basiques échangeant des ions hydroxyles ou des Cl^- , utilisés pour l'extraction de composés anioniques. Distinction est également faite entre échangeurs forts et faibles.

Ces échangeurs doivent être périodiquement régénérés par le passage d'une solution concentrée de l'ion échangé (acides ou bases fortes ou solutions salines concentrées). Les solutions de régénération usées contiennent de fortes teneurs en polluants.

Lors de la rédaction du projet d'assainissement ou de gestion du risque, **ou avant l'exécution de travaux ne nécessitant pas de projet spécifique** les caractéristiques du dispositif d'échange sont à déterminer :

- Capacité de la résine : nombre de sites d'échange par unité de poids de résine, variant de 0,5 à 2,5 équivalent/kg de résine, selon les types utilisés ;
- Sélectivité de la résine : affinité pour certains ions par rapport à d'autres ;
- Hauteur du lit d'échange ;
- Débit possible de l'eau à traiter.

Pour le traitement de l'eau souterraine, il est fait appel à des résines sélectives : élimination des métaux lourds par des résines acides fortes ou des résines chélatantes, résines anioniques sélectives pour les chromates, les cyanures métalliques complexes, ...

Le rapport recommandé entre le volume du réacteur et le volume de la résine est de 2. Les débits de traitement sont de l'ordre de 10 m^3 d'eau par m^3 de réacteur et par heure, avec des vitesses de passage de 10 à 40 m/h.

Domaine d'application : les échangeurs d'ions sont utilisés pour l'extraction des métaux, des métalloïdes, des complexes métalliques, des acides et des bases et des sels (nitrates, ammonium, cyanures, ...) et l'adoucissement de l'eau.

Les rendements rapportés sont de 80 à 99 %. Des teneurs finales de l'ordre de $10 \mu\text{g/l}$ peuvent être obtenues. L'eau à traiter peut contenir des contaminants à traiter présents à des concentrations aussi élevées que 1 g/l (idéalement $< 500 \text{ mg/l}$). Selon d'autres sources, les teneurs maximales à traiter seraient de 10 à 20 g/l. Les facteurs affectant le rendement sont la capacité et la sélectivité de l'échangeur ainsi que le pH.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

Les substances pouvant occasionner un colmatage, un endommagement (agents oxydants) ou une neutralisation des résines doivent être enlevées au préalable :

- La teneur en matières en suspension doit être inférieure 25 mg/l (100 mg/l selon d'autres sources) ;
- La formation de précipités (Oxyde de fer et manganèse) doit être évitée car ceux-ci limitent la surface d'échange et sous formes ioniques ces métaux entrent en compétition avec les métaux à extraire. Un traitement du fer doit intervenir en préalable si les teneurs dépassent 5 mg/l , la limite étant de 2 mg/l pour le manganèse ;
- Les dépôts de calcaire doivent également être évités ;

- Les teneurs en huiles minérales et autres composés organiques non miscibles doivent être inférieures à 20 mg/l (10 mg/l selon d'autres sources) ;
- Le pH doit être contrôlé pour empêcher la floculation des contaminants. Pour les résines fortes basiques ou acides, l'échange ionique peut prendre place pour des valeurs de pH allant de 0 à 14, tandis que les résines faibles acides fonctionnent dans une gamme de pH allant de 4 à 10.

Techniques associées

Les échangeurs d'ions sont généralement positionnés en fin de la chaîne de traitement.

Les prétraitements mis en œuvre comportent généralement une phase de filtration pour les matériaux en suspension et pour l'élimination du fer et du manganèse (après aération). L'ajustement du pH doit également intervenir.

Le post-traitement consiste principalement en la prise en charge des solutions de régénération des résines, fortement concentrées en composés polluants ioniques (métaux et autres). Ces solutions sont traitées par précipitation et filtration.

Fiabilité : l'échange ionique est une technique simple et largement éprouvée. La durée de vie des résines varie de 3 à 10 ans.

Sensibilité : les échangeurs d'ions sont considérés comme une technique peu sensible si les prétraitements énoncés ci-avant sont réalisés

Impact sur l'environnement

Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières sédimentées, ...) résultant de la phase de déferrisation avant passage dans les résines et de la précipitation/filtration des solutions de régénération.

2.2.7 La filtration sur membrane

Cette technique repose sur l'extraction des contaminants suite au passage de l'eau à traiter au travers d'une membrane semi-perméable après mise sous pression. Ce procédé donne naissance à un flux d'eau filtrée (perméat) et à un résidu liquide (rétentat ou concentrat) à forte teneurs en molécules retenues. Selon la taille des pores de la membrane, on parle de microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse.

La mise en œuvre de cette technique requiert, la définition des paramètres suivants :

- Qualité et débit de l'eau à traiter ;
- Type et sélectivité de la membrane filtrante et agencement : modules en série et parallèle, régime en continu ou en batch ;
- Pression à appliquer ;
- Compacité du système : surface filtrante/volume du dispositif ;
- Technique de nettoyage de la membrane.

Domaine d'application

La microfiltration est utilisée pour séparer des particules de diamètre allant de 0,1 à 10µm, telles que les colloïdes et les micro-organismes. Les métaux lourds sous forme de précipités sont également séparés.

L'ultrafiltration est appliquée à la séparation des particules de diamètre allant de 0,001 à 0,1 μm et les grosses molécules dissoutes de poids moléculaire supérieur à 500.

La nano filtration s'adresse aux molécules de diamètre supérieur à 1 nm, de poids moléculaire supérieur à 200. Cette membrane est en fait perméable à l'eau et aux ions monovalents. Elle permet donc de séparer les métaux lourds plurivalents. Elle est surtout appliquée pour diminuer la DCO de l'eau.

L'osmose inverse est utilisée pour n'obtenir que des molécules d'eau.

Les pressions mises en œuvre fluctuent de 10^6 à 10^7 Pa. Afin de traiter un débit de 1 m^3/h , une surface utile de 50 m^2 de membrane/ m^3 est nécessaire.

Les rendements rapportés sont de l'ordre de 90 % à 99 % en fonction du choix approprié de la membrane. La plupart des composés organiques et les métaux peuvent en principe être éliminés par l'osmose inverse. Il est cependant conseillé d'effectuer des tests de compatibilité entre l'eau à traiter et la membrane ainsi que des tests de faisabilité (temps de filtration).

Des teneurs initiales inférieures à 1 mg/l sont recommandées.

Cette technique est principalement en phase de finition de traitement en vue d'obtenir de l'eau très pure.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

L'eau à traiter ne doit pas avoir un pouvoir d'encrassement élevé de la membrane par la présence de particules en suspension, de colloïdes, de dépôts de calcaire et de fer. Le pH et la conductivité électrique de l'eau à traiter doivent être contrôlés. Certaines molécules dissoutes dans l'eau souterraines (acides humiques) peuvent être adsorbées par certaines membranes.

Techniques associées

Les prétraitements mis en œuvre sont : élimination des matériaux en suspension par coagulation/floculation suivi d'une filtration, élimination du fer par aération suivie d'une sédimentation ou filtration, correction du pH pour les eaux de dureté élevée.

Le post-traitement porte sur la prise en charge du concentrat (représentant de 10 à 50 % du flux initial. Le concentrat peut être traité par floculation, coagulation, précipitation, ... selon le type de polluant présent.

Fiabilité : cette technique est relativement peu utilisée mais elle présente l'avantage que le perméat est de qualité constante quelque soient les fluctuations de teneurs et de débit.

Sensibilité

Le fonctionnement des membranes est sensible à l'encrassement de sorte que des nettoyages doivent intervenir à une fréquence dépendante de la qualité de la phase de prétraitement. L'augmentation des teneurs dans le concentrat peut induire la précipitation de sels tels que le carbonate et le sulfate de Ca, entraînant l'encrassement rapide des membranes.

Impact sur l'environnement

Impact sur les eaux : production de solutions liquides concentrées (concentrats) à prendre en charge.

Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières sédimentées, floculées, coagulées ...) générées lors de la phase de prétraitement.

2.2.8 Précipitation

Cette technique consiste à extraire certains composés de l'eau à traiter grâce à la formation d'une phase précipitée insoluble obtenue par adjonction de réactifs chimiques.

Par exemple, les métaux peuvent être précipités suite à l'adjonction de soude (formation d'hydroxydes), de sulfures, sulfates, carbonates. Les thiocarbamates et des polymères comprenant des groupes sulfure sont également utilisés. D'autres métaux peuvent précipiter suite à l'addition d'un agent réducteur (chromates réduits en ion chromiques).

Les paramètres à déterminer sont : les quantités de réactifs, le temps de contact nécessaire et l'intensité de l'agitation.

Domaine d'application

La séparation par précipitation est principalement utilisée pour l'enlèvement des métaux lourds. D'autres composés inorganiques tels que les cyanures et les phosphates peuvent être aussi précipités.

La précipitation par formation d'hydroxydes est utilisée pour les polluants métalliques. Elle présente les avantages suivants :

- Facilité d'exécution ;
- Faible coût des réactifs.

Les désavantages de la méthode sont les suivants :

- En cas de chute du pH, réversibilité de la réaction et dissolution des précipités ;
- Interférence des composés complexant et des cyanures ;
- Le pH critique varie d'un métal à l'autre ;
- Grande quantité de boues produites.

La précipitation sous forme de sulfures présente les avantages suivants :

- Extraction très efficace des métaux même à faible pH ;
- Vitesse de réaction élevée et temps de passage réduit dans le réacteur ;
- Possibilité d'élimination sélective des métaux ;
- Boues facilement séparables ;
- Faibles interférence des composés complexants.

Les inconvénients majeurs sont :

- Possibilité de formation de H₂S toxique et à nuisance olfactive ;
- Toxicité des sulfures.

La précipitation sous forme de carbonates est utilisée pour la séparation du Pb, Cd et Sb.

La co-précipitation avec les oxydes de fer peut être utilisée pour la séparation de l'As et des Cyanures.

Le rendement dépend de l'efficacité de l'étape de filtration de la phase précipitée. Les teneurs résiduelles en métaux dépendent des produits de solubilité des composés précipités. Les teneurs résiduelles s'établissent entre 100 et 200 µg/l.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter

Le facteur pH est prépondérant : un pH trop bas empêche la formation de précipités (sauf les sulfures), un pH trop élevé induit la formation d'ions complexes. Le fer en solution peut être bénéfique dans la mesure où les oxydes jouent le rôle de coagulants. Les composés complexant doivent être éliminés au préalable : cyanures (élimination par oxydation chimique), ...

Techniques associées

Les prétraitements éventuellement mis en œuvre sont : ajustement du pH, aération de l'eau (pour favoriser la précipitation du fer) ou au contraire l'addition d'un agent réducteur (précipitation du Cr).

La précipitation peut être accompagnée de la coagulation/ floculation favorisant la formation flocons plus facilement séparables.

L'eau surnageante peut être débarrassée du précipité par sédimentation, filtration ou flottation.

En finition, peuvent intervenir un réajustement du pH (risque de volatilisation des sulfures excédentaires) ou passage dans un échangeur d'ions.

Fiabilité : la précipitation est une technique simple et largement éprouvée. La présence d'autres composés dans l'eau, comme le fer, peut augmenter les besoins en réactifs.

Sensibilité : à prendre compte, les risques de dépôts de calcaire et gypse dans les canalisations.

Impact sur l'environnement

- Impact sur les eaux : teneurs résiduelles en réactifs ajoutés dans les eaux traitées ;
- Impact sur la qualité de l'air : risques d'émission de H₂S si pH non contrôlé ;
- Déchets à prendre en charge : les boues précipitées (hydroxydes, sulfures, carbonates, ...) matières sédimentées, ...).

2.2.9 Coagulation – Floculation

Ces techniques ont pour but de rassembler les petites particules solides dont la séparation est malaisée en raison de la petite taille ou de leur nature colloïdale, en des unités plus grandes facilement séparables par filtration ou sédimentation.

La coagulation (ou clarification) consiste en la déstabilisation d'une émulsion par addition d'un agent coagulant. La floculation est le procédé de formation et de croissance de flocons jusqu'à une taille d'environ 1 mm, suite à l'adjonction d'un agent floculant.

Le traitement est conduit par mélange de l'eau à traiter avec un l'agent coagulant dans un réservoir rapidement agité. Les agents coagulants sont principalement des chlorures ou des sulfates de cations métalliques plurivalents (par exemple FeCl₃, Al₂(SO₄)₃). Pour les eaux souterraines riches en Fe²⁺, une simple aération peut suffire à fournir l'agent coagulant Fe³⁺. Par ajustement du pH, les conditions idéales pour une co-précipitation avec les hydroxydes métalliques sont atteintes. Les doses habituelles d'addition de Fe³⁺ sont de l'ordre de 5 mg/l.

Le temps de séjour minimal pour la précipitation des métaux = 1,5 à 2 heures. Vitesse de circulation habituelle : 1 m/h.

Dans un autre réservoir, les eaux en coagulation sont mélangées avec un agent flocculant (polyélectrolyte) et agitées lentement de manière à favoriser la formation de flocons. Les polyélectrolytes sont additionnés à raison de 2 mg/l environ.

Domaine d'application : Ces méthodes sont utilisées pour la séparation des particules en suspension et des métaux.

Les rendements sont fonction de l'efficacité de l'étape de filtration. Des tests de laboratoire peuvent indiquer les rendements attendus compte tenu des réactifs utilisés. Les composés complexants (cyanures) peuvent interférer avec le rendement tandis que le fer, le manganèse et d'autres contaminants présents peuvent augmenter la consommation en réactifs et la production de boues.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter : en cas de fluctuations importantes des teneurs, il est préférable de faire passer les eaux à traiter par un bassin tampon.

Techniques associées

Les flocons produits doivent être séparés du surnageant par sédimentation, flottation ou filtration.

Fiabilité : les techniques mises en œuvre sont très simples. Le choix de l'agent flocculant influence le succès de l'étape de filtration.

Sensibilité : à prendre en compte, le colmatage des conduites suite aux dépôts de flocons.

Impact sur l'environnement

- Impact sur la qualité de l'air : lors des phases d'agitation, les polluants volatiles peuvent être libérés dans l'air ambiant ;
- Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières flocculées, ...).

2.2.10 L'oxydation chimique

Cette technique vise à transformer les contaminants en eau, CO₂ et sels par oxydation chimique. Les oxydants utilisés sont l'ozone, l'eau oxygénée, le permanganate, le persulfate, l'hypochlorite et le dioxyde de chlore.

L'ozone et l'eau oxygénée présentent l'avantage de ne pas générer des sels additionnels dans l'eau traitée. L'oxydation chimique est une réaction rapide, pouvant donc être réalisée dans des réacteurs compacts.

Le pouvoir oxydant des réactifs est augmenté lorsque des radicaux (hydroxyles, Hydrogène, Oxygène...) sont formés. Pour réaliser cette activation, on fait appel à une lampe UV (oxydation photo-chimique) immergée dans le réacteur. Un autre mode d'activation est l'adjonction de catalyseurs : le charbon actif, par exemple. En présence de charbon actif, les polluants adsorbés restent plus longtemps dans le réacteur et les fluctuations de teneurs ont moins d'influence sur les rendements de la réaction.

Le temps de séjour dans le réacteur varie de 5 à 10 secondes.

Domaine d'application : l'oxydation chimique est applicable aux composés organiques et également certains composés inorganiques tels que le cyanure transformé en ammonium.

Pour le cyanure, le traitement passe par une première phase à pH 11 ou 12 en présence d'hypochlorite, où il est transformé en cyanate. Ce dernier est ensuite hydrolysé à pH neutre en ammonium et carbonate ou ensuite oxydé en azote et CO₂ à pH acide (4 à 6). Les cyanures

complexes peuvent également être oxydés à l'aide d'hypochlorite. Les cyanures complexes de fer peuvent être oxydés à l'aide d'oxydants puissants tels que l'ozone et l'eau oxygénée.

L'oxydation de composés polluants tels que les HCOV, les BTEX, les huiles minérales, les HAP, les phénols et certains pesticides a déjà été rapportée.

Les rendements

Les teneurs résiduelles rapportées suite à l'oxydation chimiques sont les suivantes :

- Cyanures traités à l'hypochlorite : 100 µg/l ;
- VOCl : 10µg/l avec 1 µg/l pour les composés individuels ;
 - o Dichloro-éthane : 1 à 10 µg/l (teneur initiale = 200 µg/l) ;
 - o Trichloro-éthane : 1 à 10 µg/l (teneur initiale = 5 000 µg/l).
- Benzène : 1,1 µg/l (teneur initiale = 1100 µg/l) ;
- HAP : 3µg/l (teneur initiale = 300 µg/l) ;

Des rendements de 99 % sont donc accessibles.

Les facteurs affectant les rendements sont : le choix du réactif oxydant, le pH, le temps de séjour. Les conditions optimales de traitement sont à déterminer lors de tests de laboratoire ou lors de la phase de démarrage. Un temps de séjour trop court peut donner naissance à des produits de réaction intermédiaires. En cas de fluctuations des teneurs en contaminants, soit les réactifs oxydants non consommés, soit des contaminants non oxydés sont rencontrés dans l'eau traitée.

La matière organique est oxydée en priorité par les réactifs oxydants de sorte que sa présence dans l'eau souterraine peut causer une destruction incomplète des polluants visés.

Contraintes liées aux propriétés des eaux à traiter : pas de limitation quant aux débits et aux teneurs initiales à traiter.

En cas de traitement activé par lampe UV, les limitations suivantes sont à prendre en compte :

- Faible turbidité nécessaire : particules en suspension moins de 100 mg/l ;
- Teneur en nitrates (absorbant les rayons UV) inférieures à 100 mg/l ;
- En cas de présence de colorants, un rayonnement plus intensif doit être prévu ;
- La présence d'une phase non dissoute limite également l'efficacité du rayonnement UV ;
- Les carbonates, bicarbonates, butyl-alcools tertiaires sont des pièges à radicaux et limitent l'efficacité de l'oxydation si présents à des teneurs supérieures à 400 mg/l (100 mg/l selon d'autres sources) ;
- Le fer et le manganèse à des teneurs supérieures à 5 mg/l peuvent limiter l'efficacité du rayonnement suite aux dépôts d'oxyde sur la lampe.

Techniques associées

Les prétraitements mis en œuvre suivent généralement la séquence suivante : précipitation, floculation, clarification/filtration de manière à éliminer les particules en suspension, les micro-organismes, le carbonate, le fer et les autres métaux à éliminer.

Les post-traitements peuvent consister en : élimination des réactifs en excès (eau oxygénée, ozone, hypochlorites, ...), élimination des produits de réaction secondaires (hydrocarbures halogénés). Une finition par filtration sur charbon actif peut être réalisée pour éliminer les polluants résiduels.

Fiabilité : l'oxydation chimique est connue et peut être menée en confiance. Il est recommandé de suivre les teneurs en composés à oxyder de manière régulière de façon à ajuster les doses d'oxydants.

Sensibilité : en cas d'utilisation de lampes UV, un nettoyage régulier de celles-ci est à prévoir.

Impact sur l'environnement

- Impact sur les eaux : la présence de contaminants non oxydables et une oxydation incomplète peuvent être à l'origine d'une pollution résiduelle des eaux traitées ; ; la présence de métabolites réactionnels intermédiaires peut engendrer des risques accrus pour l'environnement ou la santé humaine
- Impact sur la qualité de l'air : en cas d'utilisation d'ozone, les émissions d'ozone dans l'air doivent être traitées. Les polluants volatiles sont susceptibles d'être libérés dans l'air ambiant lors du traitement ;
- Déchets à prendre en charge : les boues (oxydes, matières sédimentées, ...) produites lors des étapes de prétraitement et les précipités d'oxydes métalliques éventuellement produits lors du traitement.

Sécurité

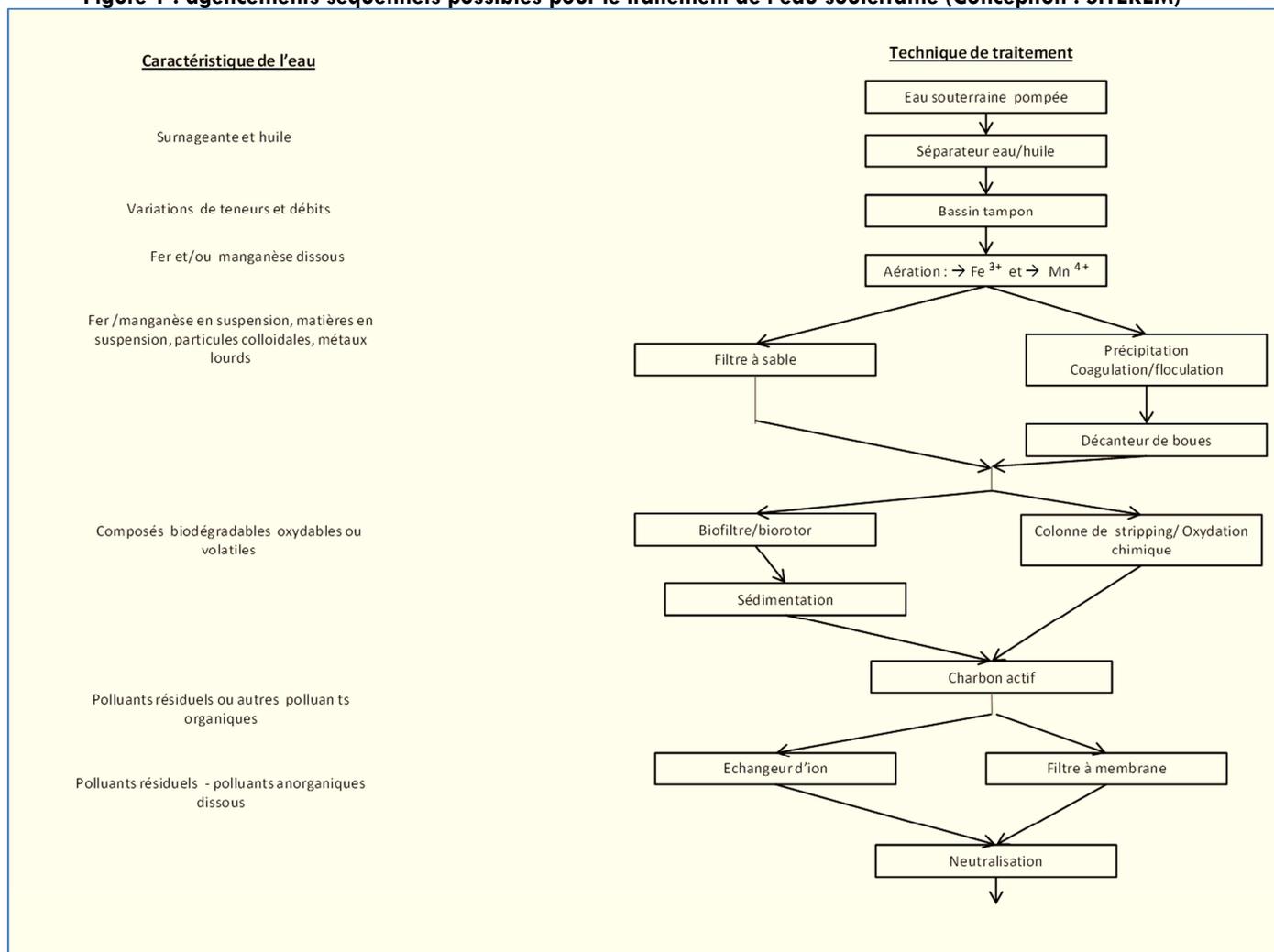
Des mesures de sécurité sont à prendre compte tenu des propriétés dangereuses et toxiques des réactifs. Les réactions d'oxydation sont fortement exothermiques et la décomposition de l'eau oxygénée peut être très rapide et explosive en présence de catalyseur (fer, nickel, ...). L'utilisation d'hypochlorite à bas pH peut donner naissance à des dégagements de chlore.

3 Description des variantes – agencement des différentes techniques

En fonction des caractéristiques des eaux à traiter, les différentes techniques peuvent être mises en œuvre de manière séquentielle formant ainsi une chaîne de traitement adaptée. Le schéma reproduit à la **figure 1** ci-après présente différentes alternatives de séquences modulables selon les propriétés de l'eau souterraine à traiter.

Ce schéma présente toutes les technologies aisément mobilisables pour le traitement de l'eau souterraine. En pratique les modules les plus souvent utilisés sont : le séparateur Huile/eau, le bassin tampon servant d'aérateur, le filtre à sable, la colonne de stripping, la sédimentation, le filtre à charbon actif. Les autres modules sont utilisés de manière plus ciblée pour des cas spécifiques de pollution.

Figure 1 : agencements séquentiels possibles pour le traitement de l'eau souterraine (Conception : SITEREM)



4 Objectifs poursuivis : panache versus noyau

Les eaux souterraines pompées du panache ou du noyau diffèrent par l'importance de la charge polluante à traiter. La station de traitement doit être en mesure de traiter les eaux issues de l'une ou l'autre des zones traitées. Soit selon des séquences différentes de la chaîne de traitement soit après mélange dans le réservoir tampon.

5 Examen à priori de la faisabilité technique

5.1 Choix des techniques a priori les plus appropriées compte tenu des polluants présents

Le **tableau 5** présente pour chaque type de polluant présent dans l'eau souterraine, les techniques de traitement les plus appropriées.

Tableau 5 : Indication a priori de différentes techniques de traitement pour une série de polluants

Type de polluant	Huile minérale	BTEX	HAP	HCOV	Organochlorés non volatiles	Métaux lourds	Cyanures libres	Cyanures complexes
Séparateur huile/eau	+	0	-	-	-	-	-	-
Précipitation – pH élevé (soude)	-	-	-	-	-	+	-	-
Coagulation/floculation	+	0	+	-	0	+	-	+
Charbon actif	+	+	+	+	+	-	-	-
Colonne stripping	0	+	-	+	-	-	-	-
Biorotor – filtre biologique	+	+	0	?	?	-	0	-
Oxydation/réduction chimique	+	+	+	+	?	?	+	0
Echange d'ions	-	-	-	-	-	+	+	+
Filtre à membrane	?	?	?	?	?	?	?	?
Filtre à sable	-	-	-	-	-	+	-	0

Légende : - = non indiqué, 0 = moyennement applicable, + = appropriée, ? = résultat selon le composé

Le **tableau 5** appelle les commentaires suivants :

- Pour les filtres à membranes, le type de polluant qu'il est possible d'éliminer dépend du type de filtration : micro-, ultra et nano-filtration ou osmose, inverse ;
- Les techniques de séparation huile/eau, filtration sur charbon actif, colonne de stripping et traitement biologique sont des techniques pouvant intervenir de manière isolée dans une station de traitement. Ce n'est pas le cas des techniques telles que filtre à membrane, échangeur d'ions, coagulation/floculation qui, elles, s'inscrivent dans une chaîne de modules de traitement.

6 Examen spécifique de la faisabilité du traitement

6.1 Paramètres à mesurer

Le **tableau 6** ci-après présente les paramètres qui doivent être mesurés et/ou quantifiés avant le lancement **du traitement** impliquant une étape de traitement de l'eau souterraine pompée. Ce tableau représente une check liste des données devant être acquises, soit au cours des phases d'études successives (étude de reconnaissance, étude détaillée, étude de risques) soit lors de la rédaction du projet d'assainissement ou de gestion du risques, ou avant le lancement des tests de laboratoire et des tests pilote éventuels, **soit avant l'exécution de travaux ne nécessitant pas de projet spécifique**. Ce tableau présente d'une part les paramètres devant être connus quelle que soit la chaîne des technologies mises en œuvre lors du traitement, et les paramètres plus spécifiquement requis pour l'application de l'une ou l'autre des techniques.

Tableau 6 : paramètres de l'eau souterraine à mesurer en fonction des types de techniques de traitement envisagées

Paramètres	Moyen de mesure	Commentaire
Paramètre nécessaire quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser		
Débits prévus des eaux à traiter		Evaluation des variations attendues
Paramètres physico-chimiques : pH, T°, conductivité électrique, teneur en O ₂ et Eh	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Données disponibles au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques
Teneurs en polluants justifiant l'intervention	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Teneurs initiales connues au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques. Estimation de l'évolution des teneurs lors du traitement.
Teneurs en polluants dépassant les NA et devront être traités avant rejet	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Teneurs initiales connues au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques. Estimation de l'évolution des teneurs lors du traitement.
Teneurs en fer et manganèse dissous	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Présence et épaisseur d'une couche surnageante	Observation dans les piézomètres	Données disponibles au terme des études de reconnaissance, détaillée et de risques
Paramètre spécifique pour le séparateur huile/eau		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Paramètres spécifiques pour le stripping		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Teneurs en méthanol, acétone, méthyl-éthyl cétone, et autres solvants polaires susceptibles d'interférer avec le traitement	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Dureté de l'eau	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Influence la fréquence des entretiens

Paramètres spécifiques pour le traitement biologique à biomasse fixe		
Demande chimique en oxygène	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Demande biologique en oxygène	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Estimation des quantités de nutriments nécessaires
Teneurs en N et P rapidement mobilisables par les micro-organismes (Ammonium, Nitrate, phosphate)	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Paramètres spécifiques pour la filtration sur charbon actif		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Dureté de l'eau	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Risque de dépôts
Paramètres spécifiques pour l'échange ionique		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Dureté de l'eau	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Risque de dépôts
Teneurs en cations ou anions pouvant entrer en compétition pour les sites d'échange : Ca, Mg, K, NO ₃ , NH ₄ , Cl, SO ₄ ...	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Paramètres spécifiques pour la filtration sur membrane		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Dureté de l'eau	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Risque de dépôts
Paramètres spécifiques pour la précipitation		
Teneurs en cyanure libre		Risque de formation d'ions complexes
Paramètres spécifiques pour la coagulation floculation		
Carbone organique total	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Consommation en réactif et quantité de boue à prendre en charge
Paramètres spécifiques pour l'oxydation chimique		
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	
Dureté de l'eau	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Risque de dépôts - Pièges à radicaux libres
Carbone organique total	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Consommation en oxydant pour la destruction de la matière organique
Turbidité	Prélèvement dans les piézomètres et analyse	Si activation par rayonnement UV

La filtration sur filtre à sable ne requiert pas l'analyse de paramètres particuliers.

6.2 Nécessité d'essais préalables au laboratoire

Les différentes techniques exposées ci-dessus sont des techniques éprouvées dont l'efficacité peut être estimée sur la base des informations reprises dans le **tableau 6**.

Pour l'oxydation chimique cependant, la faisabilité technique (et financière) du traitement mérite un premier examen à l'aide d'un test de laboratoire. Les paramètres techniques du traitement pourront ainsi être précisés.

Les paramètres à mesurer et les données à rapporter lors de cette étape font l'objet du **tableau 7** suivant.

Tableau 7 : test de laboratoire de la faisabilité de l'oxydation chimique in-situ : paramètres à mesurer et données à rapporter

Paramètres à mesurer	Tests à effectuer	Données à rapporter
Caractérisation du matériel eau souterraine testé	Analyse des caractéristiques physico-chimiques et chimiques : pH, TOC, teneurs en polluants à traiter, teneurs en Fer et autres éléments catalyseurs, teneurs en carbonates	Méthodes d'analyses, taille de l'échantillon, et résultats des analyses : pH, TOC,
Pouvoir tampon de l'eau souterraine	Tests de titration à l'aide d'acides ou de bases diluées	Courbes de titration et pouvoir tampon (quantité d'acide/base à ajouter par unité de volume d'eau et par unité de pH)
Demande en oxydant de l'eau souterraine	Consommation d'oxydant de l'eau en l'absence de polluant : tests en batch	Ratio eau souterraine /solution oxydante, teneur en oxydant de la solution, durée du traitement, type d'oxydant, pH lors du traitement, caractéristiques du rayonnement UV
Efficacité de l'oxydation pour l'élimination du polluant dans l'eau souterraine	Teneurs résiduelles dans l'eau après le traitement, quantités d'oxydants consommés, effets sur le pH, production de composés intermédiaires, teneurs en produits de la réaction (Cl^- et SO_4^{2-}) Tests en batch.	Teneurs finales en polluants, ratio eau /solution oxydante, teneurs en oxydant de la solution, pH de départ, teneur en catalyseur, pH final, teneurs en composés intermédiaires éventuels, teneurs en produits de réaction, durée et conditions (t° , rayonnement UV) du test Demande en oxydant de l'eau polluée. Comparaison avec un "blanc".
Conséquence pour la mobilité accrue d'autres polluants	Teneurs en polluants non considérés comme nécessitant une intervention dans l'eau souterraine suite du traitement (Cr, As, composés organiques, ...)	Teneurs finales dans l'eau en éléments métalliques (Cr, As, ...) et en composés organiques susceptibles de devenir problématiques après traitement (Teneurs >NA). Comparaison avec un "blanc"

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

- Les tests de titration du sol et de l'eau souterraine ou du mélange des deux donnent une indication des quantités d'acides ou de bases à apporter au sol afin d'établir les conditions d'acidité jugées comme optimales pour le déroulement de l'oxydation ;
- La recherche et l'analyse de produits intermédiaires de la réaction d'oxydation doit être orientée sur la base de données de la littérature. L'expert justifiera les choix et options retenus à cet égard ;
- D'une manière générale, on s'attachera à choisir des conditions expérimentales s'approchant des conditions prévalant dans le sol à traiter : conditions de t° , durée du traitement correspondant à la durée de rémanence du polluant dans le sol, ...

Il peut être utile de tester en laboratoire les résultats attendus suite à la mise en œuvre des techniques de coagulation/floculation. Les informations recherchées sont :

- Choix de l'agent coagulant et floculant les plus adapté ;
- Quantités optimales (techniquement et économiquement) d'agent à ajouter ;
- Facilité de séparer et déshydrater les boues en vue de leur prise en charge en dehors du site.

Il en va de même pour la filtration sur membrane. Les conditions de traitement offrant les meilleurs résultats seront définies :

- Type de membrane ;
- Pression de service ;
- Débits filtrés/surface ;
- Vitesse de circulation ;
- Teneurs dans le filtrat ;
- Fréquence requise de nettoyage.

6.3 Nécessité d'un test pilote

L'AGRBC du 29/03/2018 fixant le contenu type du projet de gestion du risque, du projet d'assainissement, de la déclaration préalable au traitement de durée limitée et des modalités d'affichage du traitement de durée limitée prévoit la définition, la nécessité et le contenu type d'une étude pilote.

Dans la mesure où les données recueillies apparaissent suffisantes, il n'y a pas lieu de mettre en œuvre une étape de test pilote sur le terrain. L'expert formulera et justifiera ses recommandations à cet égard.

Pour le traitement par voie biologique, compte tenu du temps nécessaire pour l'adaptation de la biomasse, la calibration et la fixation des conditions optimales pourront intervenir lors de la phase de lancement. Durant cette phase d'adaptation, une option alternative (option de secours) de traitement devra être opérationnelle.

7 Description d'une installation type

Compte tenu de la grande diversité des séquences techniques pouvant être mises en œuvre, il est malaisé de donner une description type d'une installation de traitement. Les stations peuvent opérer en continu ou de manière intermittente.

Les différents éléments présents peuvent être regroupés en :

- Le système de collecte et de transport des eaux à traiter : conduites (de préférences enterrées) et collecteurs comportant des dispositifs de contrôle (débitmètres, sondes de température, manomètres, explosimètres) et des points d'échantillonnage de l'eau pompée ;
- Un bassin tampon éventuel (en cas de variations de débits et de teneurs) ;
- Les modules techniques de prétraitement : cuves d'aération, cuves sédimentation et clarification, (avec ou sans coagulation/floculation), filtres à sable, ... Ces modules sont également équipés d'instruments de contrôle, de points d'échantillonnage et de systèmes de régulation ;
- Les modules techniques du traitement proprement dit : colonne de stripping, biorotor, ... également équipés d'instruments de contrôle, de points d'échantillonnage et de systèmes de régulation ;
- Les modules techniques éventuels de finition : échangeur d'ions, filtres à charbon actif ... équipés d'instruments de contrôle, de points d'échantillonnage et de systèmes de régulation et débouchant vers le point de rejet ou le dispositif d'infiltration.

A la sortie du traitement, un point d'échantillonnage sera impérativement placé.

Les déchets solides produits tels que les boues de déferrisation, les sédiments, le charbon usé, les résines usées, ... sont stockés avec les précautions nécessaires compte tenu de leur caractère polluant ou dangereux.

Un dispositif de traitement des effluents gazeux sera présent de manière à limiter la dissémination dans l'air ambiant des vapeurs de composés volatiles éventuellement présents dans l'eau souterraine, de l'ozone excédentaire et de l'air chargé sortant de la colonne de stripping. On rappellera que le traitement des effluents gazeux fait l'objet d'un code de bonne pratique distinct.

8 Descriptif de l'installation qui sera mise en place

Le dispositif qui sera mis en place dans le cadre du traitement sera décrit en fournissant, au minimum, les indications suivantes reprises dans le **tableau 8**.

Tableau 8 : données à fournir concernant le système de traitement de l'eau souterraine pompée

Partie du dispositif	Élément	Données du descriptif
Paramètres nécessaires quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser		
Dispositif de collecte et d'amenée	Conduites et collecteurs	Diamètres, type (matériaux), localisation, débits attendus
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, explosimètres, sondes de températures, point d'échantillonnage
	Bassin tampon	Volume, localisation,
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
	Point de rejet	Localisation, point d'échantillonnage
Dispositifs annexes	Ajustement du pH et des teneurs en nutriments, aération, ...	Agents chimiques et quantités ajoutées, débits d'air
Paramètre spécifique pour le séparateur huile/eau		
Séparateur	Séparateur	Volume, débit, fréquence de vidange prévue
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, point d'échantillonnage, niveaux de produits purs
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour le stripping		
Colonne de stripping	Colonne de stripping	Dimensions et volume, type, débits de l'eau et de l'air
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, explosimètres, sondes de températures, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt et de remise en marche
Paramètres spécifiques pour le traitement biologique à biomasse fixe		
Filtre biologique	Biorotor, filtre fixe immergé ou émergé	Type, dimension, surface active, débits, temps de résidence, si nécessaire, filière de prise en charge de la biomasse
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, sondes de températures, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt (gel)

Paramètres spécifiques pour la filtration sur charbon actif		
Filtres à charbon actif	Batterie de filtres	Type, capacité d'adsorption, dimensions, débits, vitesse de passage et temps de contact, fréquence de remplacement, quantités estimées de charbon nécessaires
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, sondes de températures, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour l'échange ionique		
Echangeur	Résines	Type de résine, quantités présentes, volume de l'échangeur, capacité d'adsorption, débits, vitesse de passage, temps de contact, fréquence de régénération, quantités de solutions concentrées à traiter
	Traitement des solutions concentrées	Traitement sur ou en dehors du site. Si sur site, description de la prise en charge.
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour la filtration sur membrane		
Filtre	Filtre à membrane	Type de membrane, sélectivité, surface utile, pression de service, débits et vitesse de circulation, fréquence prévue de nettoyage
	Traitement des solutions concentrées	Traitement sur ou en dehors du site. Si sur site, description de la prise en charge. Quantités à prendre en charge.
	Dispositifs de contrôle	Manomètres, débitmètres, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour la précipitation		
Précipitation de composés dissous.	Conditionnement	Réactif ajouté, quantités ajoutées/m ³ d'eau, débits, méthode de mélange
	Séparation de la phase précipitée	Volume de l'installation, temps de séjour, débits, méthode de séparation du précipité (filtration, sédimentation, flottation)
	Prise en charge du précipité	Quantités attendues. Méthode de stockage sur site et filière de prise en charge
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt

Paramètres spécifiques pour la coagulation floculation		
Séparation des éléments non dissous	Conditionnement	Réactif ajouté, quantités ajoutées/m ³ d'eau, débits, méthode de mélange
	Séparation de la phase solide	Volume de l'installation, temps de séjour, débits, méthode de séparation du floculat (filtration, sédimentation, flottation)
	Prise en charge du solide	Quantités attendues, méthode de stockage sur site, conditionnement (déshydratation) et filière de prise en charge
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour l'oxydation chimique		
Réacteur	Procédé mis en œuvre	Type d'oxydants, type de catalyseur, quantités de réactifs /m ³ traité, pH lors du traitement, volume du réacteur, débits, temps de contact. Si activation UV, caractéristiques du rayonnement et fréquence de nettoyage, produits intermédiaires possibles
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres, point d'échantillonnage, sondes de T°, analyse air ambiant (ozone),
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt
Paramètres spécifiques pour le filtre à sable		
Filtre à sable	Batterie de filtres	Nombre et agencement des filtres, type (standard ou continu), dimensions (surface), débits filtrés, fréquence de nettoyage
	Prise en charge des solutions de nettoyage	Type de séparation liquide/solide (sédimentation, précipitation), filière de prise en charge des éléments solides, quantités de solides attendues.
	Dispositifs de contrôle	Débitmètres - point d'échantillonnage
	Dispositif de régulation	Vannes, dispositif de mise à l'arrêt

L'installation sera décrite par l'expert à l'aide d'un schéma technique (schéma conceptuel) de type similaire à celui représenté à la **figure 2**.

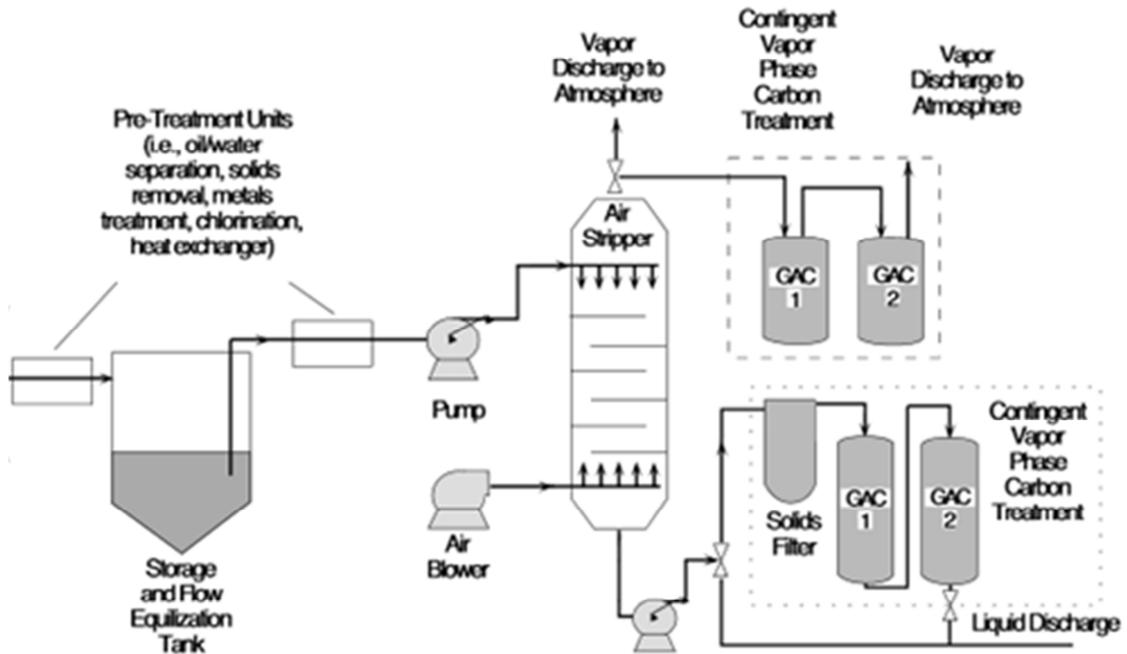


Figure 2. Schéma de Principe (Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems, EPA 1997)

9 Limitation des incidences du projet sur l'environnement : odeurs, bruits, poussières, ...

9.1 Points à prendre en compte

En fonction de l'occupation actuelle et future du site et de ses alentours immédiats, les points suivants sont à prendre en compte :

- Risques liés à la nature toxique/dangereuse des réactifs utilisés (oxydants, acides, bases, ...)
- Nuisances pour la qualité de l'air au niveau du chantier et de ses alentours immédiats : teneurs en gaz nocifs et odeurs, poussières ;
- Risques d'incendies et d'explosion ;
- Risques de dissémination des réactifs ;
- Nuisances acoustiques ;
- Risques pour les installations de captage voisines.

9.2 Risques liés à la nature dangereuse ou toxique des réactifs utilisés

Les risques à prendre en compte découlent du stockage, de la manipulation et de la mise en œuvre de composés dangereux et/ou toxiques (Acides, bases, oxydants, ...). Ces risques doivent être identifiés et évalués lors de la préparation du projet.

Les risques liés à la nature de la substance utilisée peuvent être estimés à l'aide de la FDS (fiche de donnée de sécurité) ou en Anglais MSDS (Material Safety Data Sheets). Ces fiches dont le contenu est régi par la réglementation européenne REACH, donnent les propriétés physiques, les données de toxicité, d'écotoxicité, les risques liés au stockage, les données de réactivité, ... des substances individuelles ainsi que les mesures de protection à prendre en préalable et les mesures correctives à prendre en cas d'accident.

Les phrases de risques et de sécurité reprises sur l'emballage des réactifs donnent également des indications sur les risques liés à la formulation des substances présentes sur le chantier.

Les mesures particulières à prendre lors de l'exécution du chantier doivent être décrites, **soit** lors de la rédaction du projet d'assainissement ou de gestion du risque, **soit avant l'exécution de travaux ne nécessitant pas de projet spécifique**. Ces mesures doivent, entre autres, porter sur :

- Le stockage et la manipulation des substances dangereuses ou toxiques : risque de dispersion, fuites, ... ;
- La neutralisation des substances quittant le site (boues, phases de produit pure, ...)
- Risque d'exposition pour les personnes : inhalatoire, contact dermique ;
- Mesures de protection des personnes : EPI (équipement de protection individuelle), mesure de détection dans l'air ambiant ;
- Information et formation des personnes amenées à travailler près de ou avec ces substances dangereuses ou toxiques.

9.3 Nuisances pour la qualité de l'air

L'air en contact direct avec les installations de traitement peut être contaminé de différentes façons selon les techniques mises en œuvre :

- Dégagements d'ozone (toxique) si cet oxydant est utilisé ;
- Dégagement d'H₂S (toxique) en cas d'utilisation de sulfure et pH acide ;
- Dégagement de vapeurs de polluants volatiles présents dans l'eau à traiter.

De manière à prévenir le risque de dissémination de vapeurs nocives ou odorantes vers les cibles sensibles susceptibles d'être présentes sur le site et ses abords immédiats, l'étanchéité des installations fera l'objet d'un soin particulier.

Comme précisé dans la section traitant de la supervision du traitement, lors du lancement des opérations, et les semaines après, un examen de la qualité de l'air à proximité des installations de traitement des gaz extraits sera effectué si des cibles sensibles sont présentes à proximité immédiate du chantier (zones d'habitat, écoles, ...). En cas de plaintes répétées des riverains concernant la présence d'odeurs résultant du traitement, une campagne de mesures de la qualité de l'air devra également intervenir.

L'émission de poussières n'est pas susceptible de résulter de la mise en opération d'une installation de traitement de l'eau souterraine.

9.4 Risques d'incendie et explosion

Les réactions d'oxydation, surtout en présence de catalyseurs, génèrent des quantités de chaleur appréciables. La libération d'oxygène qui accompagne ces réactions dans certains cas peut être responsable de conditions propices à l'apparition d'incendies ou d'explosions

L'extraction d'eau souterraine riche en composés volatils peut amener à la création de conditions explosives dans les conduites et les réservoirs. En cas de présence de composés volatils, des explosimètres doivent donc être mis en place à différents endroits du dispositif : au niveau des canalisations de collecte des eaux extraites ou du bassin tampon, au niveau des installations de traitement... Ces explosimètres doivent être reliés à un système d'alerte, ouverture automatique et entrée d'air et, si nécessaire, un arrêt du fonctionnement en cas de dépassement de la valeur de 10 % de la LEL (Lower Explosive Limit).

9.5 Risques de dissémination des composés dangereux et toxiques

Les risques de dispersion non contrôlée des réactifs dangereux et toxiques sont à prendre en compte : fuites au niveau du stockage, lors de la mise en œuvre, débordements, ruptures de conduites, ... Il en va de même pour les produits résultant du traitement temporairement stockés sur site : huiles minérales pures séparées, boues et floculats ...

9.6 Nuisances acoustiques

Des nuisances acoustiques pour les personnes résidant aux alentours du chantier peuvent résulter du fonctionnement des pompes et d'un générateur d'électricité dans les zones non raccordées à un réseau.

Les mesures aptes à minimiser ces nuisances doivent être prises :

- Mise en place des installations à une distance raisonnable des zones d'habitat ;
- Régulation des débits afin d'éviter les phénomènes de cavitation au niveau des pompes ;
- Mise en place des installations bruyantes dans des caissons ou conteneurs acoustiquement bien isolés ;
- Régulation des horaires de fonctionnement afin d'éviter les nuisances nocturnes en cas de fonctionnement intermittent.

9.7 Risques pour les installations de captage voisines

Les installations de captage utilisées à des fins de distribution publique doivent être considérées comme des cibles prioritaires. Les autres installations de captage utilisées à des fins privées doivent également être prises en compte si elles risquent d'être impactées suite aux opérations de traitement par oxydation chimique in-situ.

Ces installations sont susceptibles d'être impactées par suite d'épanchements importants dans le sol de substances dangereuses ou toxiques stockées ou mises en œuvre dans la station de traitement.

9.8 Conformités aux cadres légaux existants

Pour les nuisances atmosphériques, les normes à l'émission pour les gaz rejetés dans l'atmosphère sont données dans [le code de bonne pratique 'Normes de rejet dans le cadre des travaux d'assainissement et des mesures de gestion du risque'](#). Les impositions renseignées au permis d'environnement prédélivrées doivent également être respectées.

Les normes de qualité de l'air à l'émission dans l'air extérieur pour mesurer l'importance de la contamination résultant de la mise en service d'un dispositif d'injection d'ozone et de pompage des gaz du sol ne sont pas disponibles en Région de Bruxelles-Capitale. Dans une première approche, les teneurs mesurées en polluants volatils sont comparées aux valeurs [disponibles sur la plateforme S-Risk © \(Substance data sheets, <https://s-risk.be/documents>\)](#). En cas de dépassement de celles-ci, une vérification de l'étanchéité des installations s'impose. Dans les zones sujettes à un niveau élevé de pollution atmosphérique ambiante (voiries à trafic intenses, zones industrielles, ...) une opération de vérification sera déclenchée si le niveau de contamination de l'air à proximité des installations dépasse le niveau de contamination ambiant mesuré sur une période de 24 h.

En matière de perception d'odeurs, il n'existe pas de seuil légal en vigueur pour les différents composés en Région de Bruxelles-Capitale. Une vérification de l'étanchéité des installations sera nécessaire en cas de plaintes répétées des riverains.

En matière de nuisances acoustiques, le niveau de bruit tolérable généré par les chantiers de traitement de la nappe aquifère par pompage est réglementé par l'Ordonnance du 17.07.1997 et son arrêté d'exécution du 24 novembre 2002 relatif à la lutte contre les bruits et les vibrations par les installations classées. Dans les zones à niveau de bruit ambiant élevé (voiries, zones industrielles actives, ...) il convient de comparer le niveau mesuré de l'impact des installations au niveau de bruit ambiant.

10 Supervision du traitement

10.1 Mesures de surveillance : dispositif type

Compte tenu de la diversité des séquences techniques qui peuvent être mises en œuvre, la description d'un dispositif type est malaisée. Tout au plus peut-on mentionner :

- Dispositif type commun à tous les types d'installation :
 - o Au niveau du système de collecte (conduite, collecteur ou bassin tampon) des eaux à traiter : débitmètres, sonde de température, manomètres, points d'échantillonnage ;
 - o Au niveau du point de rejet ou avant envoi vers le dispositif d'infiltration : débitmètres, sonde de température, point d'échantillonnage ;
- Dispositifs propre à chaque module ou groupe de modules technique de la séquence de traitement : débitmètre d'entrée, manomètres et sonde de température éventuels, points d'échantillonnage à l'entrée et à la sortie.

10.2 Mesures de supervision : paramètres de supervision du traitement et fréquences

Les paramètres de supervision du traitement et la fréquence des mesures sont donnés dans le **tableau 9** suivant :

Tableau 9: fréquences et paramètres des opérations de supervision du traitement

Paramètres	Moyen de mesure	Paramètre	Fréquence minimale *	Commentaires
Paramètre nécessaire quelle que soit la chaîne des techniques à utiliser				
Débits des eaux à traiter	Débitmètres dans le système de collecte	Débits (m ³ /s) et volumes cumulés	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un bassin tampon en cas de variations
Débits des eaux rejetées ou dirigées vers le dispositif d'infiltration	Débitmètre avant le point de rejet ou avant le dispositif d'infiltration	Débits (m ³ /s) et volumes cumulés	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Paramètres physico-chimiques de l'eau à traiter	Prélèvement dans le(s) point(s) d'échantillonnage situés dans le réseau de collecte	pH, T°, conductivité électrique, Eh, teneur en O ₂ , teneurs en fer et manganèse dissous,	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un bassin tampon en cas de variations
Teneurs en polluants dans l'eau à traiter	Prélèvement dans le(s) point(s) d'échantillonnage situés dans le réseau de collecte	Teneurs en polluants justifiant l'intervention. Teneurs en polluants présents > NA et qui devront être traités avant rejet	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un bassin tampon en cas de variations
Présence d'une couche surnageante	Prélèvement dans le(s) point(s) d'échantillonnage situés dans le réseau de collecte	Présence d'une phase libre, nature et importance	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	

Teneurs en polluants dans l'eau traitée	Prélèvement dans le point d'échantillonnage situé avant le point de rejet ou le point d'infiltration	Teneurs en polluants justifiant l'intervention. Teneurs en polluants initialement présents à des teneurs > NA	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
---	--	---	--	--

Paramètres spécifiques pour le séparateur huile/eau				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le séparateur	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	
Efficacité du séparateur	Prélèvement dans le point d'échantillonnage à la sortie du séparateur	Teneurs en huiles minérales, graisses, ...	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Quantités de produits purs	Jauges du séparateur	Quantités de produit pur stockées dans l'appareil	A déterminer par l'expert	Fréquence de vidange
Paramètres spécifiques pour le stripping				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, Manomètres à l'entrée et à la sortie de l'air, Débitmètre pour l'eau et l'air	T° de l'eau, perte de charge lors du passage de l'air, ratio débit air/débit eau, temps de séjour de l'eau	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Signes de colmatage de la colonne et fréquence des entretiens
Efficacité du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie de l'installation	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Qualité de l'air après passage dans la colonne	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'air à la sortie de l'installation	Teneurs en contaminants dans l'effluent gazeux	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Nécessité d'un traitement de l'air avant rejet dans l'atmosphère
Paramètres spécifiques pour le traitement biologique à biomasse fixe				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, Débitmètre . Point de prélèvement à l'entrée du module	T° de l'eau, débit et temps de séjour. DCO, DBO, teneurs en N, P, pH, teneurs en O ₂	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Efficacité du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie de l'installation	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Besoin d'une étape de finition
Paramètres spécifiques pour la filtration sur charbon actif				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le filtre	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	

Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, manomètres à l'entrée et à la sortie de l'eau, débitmètre	T° de l'eau, perte de charge lors du passage de l'air, ratio débit air/débit eau, temps de séjour de l'eau	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Signes de colmatage du filtre et fréquence des entretiens
Efficienc du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie du premier filtre	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Remplacement des filtres
Paramètres spécifiques pour l'échange ionique				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant l'échangeur	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, manomètres à l'entrée et à la sortie de l'eau, débitmètre	T° de l'eau, perte de charge lors du passage de l'eau, temps de séjour de l'eau	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Signes de colmatage et fréquence des entretiens
Caractéristiques de l'eau à traiter	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le séparateur	pH, teneurs en cations ou anions pouvant entrer en compétition pour les sites d'échange : Ca, Mg, K, NO ₃ , NH ₄ , Cl, SO ₄ ...	A déterminer par l'expert	En fonction de la sélectivité de la résine
Efficienc du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie du premier échangeur	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Remplacement de l'échangeur
Paramètres spécifiques pour la filtration sur membrane				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant la membrane	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, manomètre, débitmètres à l'entrée et aux sorties	T° de l'eau, pression de service, débits et vitesse de circulation de l'eau, débits du filtrat et du concentrat	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Signes d'encrassement de la membrane et fréquence des entretiens
Efficienc du traitement	Prélèvement dans les points d'échantillonnage du filtrat et du concentrat	Teneur en contaminants dans le filtrat et le concentrat	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Paramètres spécifiques pour la précipitation - coagulation - précipitation				
Conditions du traitement	Sonde de T° à l'entrée, débitmètre, doses injectées d'agents acidifiants ou basifiants, coagulants, floculants,	T° de l'eau, débits, temps de séjour de l'eau, quantités de réactifs injectés	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Calibration des besoins en réactifs

Caractéristiques de l'eau à traiter	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant l'installation	Carbone organique total, éléments non dissous ou en suspension, teneurs en cyanures et autres ions complexant	A déterminer par l'expert	Consommation en réactif et quantité de boue à prendre en charge
Efficienc e du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie de l'installation	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Calibration des besoins en réactifs

Paramètres spécifiques pour l'oxydation chimique				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le réacteur	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	
Conditions du traitement	Sonde de T° dans le réacteur, débitmètre, temps de séjour	T° de l'eau, perte de charge lors du passage de l'eau, temps de séjour de l'eau, quantités de réactifs injectés (par m ³ d'eau traitée), rayonnement UV	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	
Caractéristiques de l'eau à traiter	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le séparateur	pH, dureté	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Ajustement du pH
Efficienc e du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie du premier échangeur	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Fréquence des entretiens (lampes, générateur ozone)
Paramètres spécifiques pour le filtre à sable				
Quantités de matières en suspension	Prélèvement dans le point d'échantillonnage avant le séparateur	Teneurs en matières solides	A déterminer par l'expert	Quantités de boues à traiter
Conditions du traitement	Sonde de T°, Manomètre avant et à la sortie du filtre, débitmètre,	T° de l'eau, perte de charge lors du passage de l'eau, temps de séjour de l'eau,	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	Colmatage du filtre - fréquence de nettoyage
Efficienc e du traitement	Prélèvement dans le point d'échantillonnage de l'eau à la sortie du filtre	Teneur en contaminants dans l'eau à la sortie du traitement	Premier mois: hebdomadaire puis mensuel puis trimestriel	

* la fréquence sera ajustée par l'expert en fonction des données du suivi

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

- L'analyse des teneurs en polluants dans les effluents gazeux sera réalisée au laboratoire après prise d'échantillons sur des cartouches à charbon actif ou dans des ballons. L'expert pourra cependant proposer de réaliser des mesures directes de teneurs à l'aide d'appareil FID, PID ou de cartouches, s'il démontre qu'il existe une bonne correspondance entre les mesures directes et les analyses de laboratoire. Pour les polluants présents sous forme de mélanges tels que les hydrocarbures, compte tenu de l'évolution de la composition des

mélanges lors de l'avancement du traitement, la correspondance entre mesures directes et analyses de laboratoire devra faire l'objet de réajustements périodiques selon une fréquence proposée par l'expert. Les mesures de teneurs en O₂, CO₂ dans les gaz pourront faire l'objet de mesures directes ;

- Les échantillons de contrôle prélevés dans l'eau souterraine traitée par oxydation chimique peuvent encore contenir des réactifs oxydant susceptibles de continuer l'oxydation des composés à analyser durant la période de stockage et transport vers le laboratoire. De manière à les neutraliser, il convient d'ajouter un réducteur à l'échantillon dès son prélèvement (du thiosulfate de sodium par exemple) ;
- La périodicité des campagnes de prélèvement et d'analyse des échantillons d'eau, pourra être modifiée sur proposition motivée de l'expert.

Pour l'analyse des échantillons, il convient de se conformer au code de bonnes pratiques n° 4 « Code de bonne pratique pour les méthodes d'analyse ... », de Bruxelles Environnement .

Les paramètres de supervision du traitement ayant trait aux nuisances font l'objet du **tableau 10** suivant.

Tableau 10: Fréquences et paramètres de supervision du traitement ayant trait aux nuisances

Paramètres de suivi	Moyen	Paramètre	fréquence minimale
Teneurs en O ₃ et en polluants dans l'air ambiant	Prélèvement de l'air à proximité de la station de traitement ou des zones sensibles et analyse des échantillons, cartouche à charbon actif, cartouche PID, FID, autre	Teneurs des polluants requérant une intervention (kg/m ³)	Lors du lancement, ensuite après 2 semaines et ensuite tous les 3 mois
Mesure de bruit	Mise en place d'un réseau de mesures	Niveau de bruit	En cas de plainte des riverains
Mesure des odeurs	Mise en place d'un réseau de mesures	Niveau des odeurs	En cas de plainte des riverains

11 Rapportage, optimisation et mesures correctives

11.1 Rapportage

Conformément au prescrit de l'AGRBC du 29/03/2018 fixant le contenu type du projet de gestion du risque, du projet d'assainissement, de la déclaration préalable au traitement de durée limitée et des modalités d'affichage du traitement de durée limitée la mise en œuvre d'une intervention par oxydation in-situ implique la remise à Bruxelles Environnement de un ou plusieurs rapports intermédiaires :

- Rapport intermédiaire clôturant la phase de démarrage. On estime à deux mois un délai normal d'exécution d'une phase de démarrage. Sur proposition justifiée de l'expert, ce délai peut être modifié ;
- Autres rapports intermédiaires si le traitement s'étendent sur plusieurs années (peu courant pour l'oxydation in-situ). La fréquence de ces rapports intermédiaires n'est pas précisée dans l'Arrêté. Cette fréquence sera déterminée sur proposition justifiée de l'expert. Un rapport intermédiaire sera produit et présenté à Bruxelles Environnement lorsque, sur la base des données collectées lors des différentes campagnes de supervision, des modifications significatives dans le dispositif d'intervention sont nécessaires et soumises à l'approbation de Bruxelles Environnement : implantation de nouveaux puits d'extraction ou d'infiltration, abandon de puits, extension du réseau de piézomètres d'observation en résultat de l'extension du panache, mise en œuvre d'autres techniques de traitement, modifications majeures dans les options techniques retenues pour le traitement de l'eau pompée ...

Le contenu du premier rapport intermédiaire comprendra au minimum les informations reprises dans le **tableau 11** suivant.

Tableau 11 : informations à présenter dans le premier rapport intermédiaire

Rubrique	Paramètres et quantité à mesurer	Commentaires
Description du dispositif mis en œuvre (as built) pour la première phase	Description des éléments du système de collecte des eaux extraites (conduites, collecteurs et bassin tampon). Description des différents modules techniques du traitement. Description des dispositifs de supervision : manomètres, débitmètres, sonde de température, des points de prélèvement. Description du point de rejet ou du dispositif d'infiltration.	
Débits et caractéristiques de l'eau à traiter	Débits mesurés. Caractéristiques physico-chimiques (pH, Eh, O ₂ dissous, conductivité électrique, T°, fer et manganèse dissous, dureté, matières en suspension) et teneurs en polluants de l'eau à traiter.	Variations. Evolution. Nécessité bassin tampon
Description des paramètres du traitement	Débits et temps de séjour dans les différents modules, conditions de T°, pression, pH. Quantités de réactifs ajoutés.	Propositions d'optimisation
Résultats obtenus	Paramètres physiques : pertes de charge dans les modules, quantités de boues produites, quantités de produits purs séparés, quantités de charbon usé, quantité de résine saturée, nombre de rinçages des membranes, des filtres à sable, ... Paramètres chimiques : Teneurs en polluants à la sortie des différents modules et au point de rejet, teneurs dans les effluents gazeux	Propositions d'optimisation

11.2 Mesures correctives et optimisation

Les principales difficultés rencontrées lors de la supervision d'une installation de traitement de l'eau souterraine résultent d'un mauvais entretien, les problèmes de colmatage, de fuites et du gel. Les techniques d'échange d'ions, de filtration sur membrane, de précipitation-coagulation-floculation, requièrent une supervision intensive.

Les principaux problèmes techniques rencontrés dans les modules techniques de traitement sont les suivants :

- Séparateur huile-eau : colmatage du filtre à coalescence (enlèvement périodique de l'huile accumulée et nettoyage) ;
- Colonnes de stripping : colmatage par les dépôts et la biomasse bactérienne (ajuster la phase de prétraitement et nettoyage à l'acide) ;
- Dégradation biologique : problèmes mécanique du biorotor, problème d'aération (entretien régulier) ;
- Filtre à sable, filtre à charbon actif, filtre à membrane, échangeur d'ions: colmatage et encrassement par les dépôts et les matières en suspension (ajuster le prétraitement, entretiens réguliers, nettoyage des filtres et de la membrane) ;
- Précipitation, coagulation et floculation : erreurs de dosage des réactifs (affiner la calibration des additifs, nettoyage des sondes, contrôler les dépôts dans les conduites) ;
- Oxydation chimique : basse efficacité du rayonnement UV (nettoyages fréquents et remplacement de la lampe).

12 Santé, sécurité et organisation

12.1 Check liste succincte pour les entrepreneurs

La check liste à destination des entrepreneurs fait l'objet du **tableau 12**. Cette liste vise à aider les entrepreneurs dans la rédaction de leurs offres en réponse aux cahiers de charge rédigés par les experts. Compte tenu de la grande diversité des situations rencontrées, cette liste ne saurait être exhaustive.

Tableau 12 : check liste à destination des entrepreneurs

Rubrique	Vérification
Informations préalables complètes et suffisantes (cahier de charges, descriptif des travaux, ...)	
Vérification du dimensionnement compte tenu du matériel spécifique et de l'expérience de l'Entrepreneur	Vérification de l'adéquation entre le matériel utilisé et les polluants présents, Evaluation du risque de colmatage, Evaluation de la perte de charge du réseau, Evaluation du risque d'explosions (volatilité des polluants, matériel ATEX, ...)
Cibles sensibles	Cibles sensibles présentes sur et aux alentours du chantier bien identifiées
Aspects techniques du cahier des charges ou du descriptif des travaux	Descriptif du dispositif de collecte, prétraitement et finition (dimension, caractéristiques, localisation ...) Définition des quantités physiques: débits, pressions, dépressions, types de pompes . Définition du mode de fonctionnement : réactifs, ...
Identification des autorisations nécessaires et des cadres normatifs à respecter	Vérifier que les autorisations nécessaires ont été demandées par le donneur d'ordre. Vérifier la cohérence des performances demandées avec les cadres normatifs en vigueur.
Identification des procédures particulières à respecter	Identifier les procédures particulières et vérifier que leur respect est bien pris en compte dans le cahier des charges ou le descriptif des travaux : stockage et transport de substances dangereuses et/ou toxique, rejets gazeux,
Points de rejets	Points de rejet des eaux et des gaz traités issus du traitement identifiés et compatibles avec les caractéristiques du site. Autorisations demandées et obtenues
Les lignes de communication sont définies	Identité et coordonnées du maître d'œuvre, du donneur d'ordre, de l'agent de Bruxelles Environnement , des autorités compétentes sont connues
Informations devant être présentes dans le plan de sécurité - Hygiène et prévention de l'entrepreneur	
Identification et nature des risques	FDS (fiche de données de sécurité) et phrase de risque et de sécurité des substances utilisées. Risques lors du stockage, de la manipulation et de la mise en œuvre des différentes substances : risques pour le personnel (inhalation, contact dermique), risques d'incendie, risque de dispersion, ...
	Risque électrique : respect du RGIE, conformité des installations et rapport de contrôle
	Risque d'explosion dans les canalisations de collecte compte tenu de la présence de composés volatiles
	Risques d'incendie en raison de l'augmentation de t° et la présence d'O ₂ (si utilisation d'oxydants)

	Risques de pollution du sol et des eaux souterraines du fait du stockage de produits dangereux et/ou polluants
	Risque pour le personnel du fait de risques de fuites et de débordements
	Risques pour la santé du personnel du fait de la présence de produits volatiles, dangereux/toxiques sur le site en général. Risque de dégagements gazeux toxiques (ozone) dans l'atmosphère so oxydation par ozone, risque de présence de composés volatiles dangereux dans l'atmosphère
	Risques d'accidents en général : chutes, incendie, électrocution
	Risques liés à l'intrusion sur le site de personnes non autorisées : vols, vandalisme et risque pour la santé
	Risques climatiques : protection des installations contre le gel
	Risques liés à la circulation si infrastructures présentes sur la voie publique
Mesures préventives	Pour chacun des risques identifiés, identification et mise en place des mesures préventives (matériel électrique anti-déflagrant, équipement de protection individuel), y inclus la formation du personnel
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacun des risques identifiés, préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Personnes et services à contacter en cas de problème	Pour chacun de risques identifiés, identité et coordonnées des personnes et/ou service à contacter : service incendie, commune, protection civile,,exploitant des réseaux
Identification des nuisances possibles	Odeur et vapeurs dangereuses pour le voisinage en cas de fuites et pertes à partir des installations
	Nuisances sonores des équipements : pompes, groupes électrogènes,
	Encombrement des voiries
Mesures préventives	Pour chacune des nuisances identifiées, identification et description des mesures préventives. Par exemple, mise en place d'explosimètres, de systèmes d'alarme et de mise à l'arrêt et de sauvegarde (entrée d'air dans les canalisations)
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacune des nuisances identifiées, préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Planning des interventions	
Plan de monitoring et d'entretien	Planning des visites de contrôle : fréquence bimensuelle minimum
	Planning des visites d'entretien
Identification des pannes et des problèmes techniques susceptibles de se produire	Défectuosité des équipements et de l'installation : défauts d'étanchéité
	Risque de colmatage des conduites et des filtres : chute des débits, des pressions et dépressions
	Epuisement prématuré des matériaux utilisés pour le traitement des gaz et de l'eau (charbon actif)
Mise en place de systèmes d'alarme, de mise en sauvegarde, et de mise à l'arrêt	Tester le système d'alarme lors de chaque entretien
Mesures correctives et d'intervention	Pour chacun des problèmes susceptibles de se produire : préparation des mesures correctives et d'intervention (en urgence, si nécessaire)
Rapports de surveillance de l'expert	Prise en compte des rapports de suivi de l'expert et mise en place concertée des mesures correctives ou d'optimisation.

Points d'attention spécifiques aux techniques de traitement mises en œuvre	
Généralités	Vérification de l'étanchéité du réseau de conduites et de l'installation lors de la mise en service, Vérification de l'étanchéité du réseau de conduites et de l'installation en pleine charge, Contrôle du fonctionnement du système de gestion à distance, Entretien périodique de l'installation de traitement (au minimum mensuel), Evacuation des produits de nettoyage, selon une filière adéquate, Mesure du rendement de l'installation, Suivi des débits et volumes traités
Filtration sur charbon actif	Contrôle de la pression et des pertes de charges
Traitement catalytique de l'air	Contrôle des températures, Vérification des rendements- évaluation de la désactivation catalytique, Mesures des pertes de charges, Contrôle du niveau LEL (limite inférieure d'explosivité)
Contrôle des rejets et nuisances	Contrôle ponctuel lors de la mise en service de l'installation et périodique des rejets gazeux à l'aide d'appareillage de mesures (PID, explosimètre), Contrôle des nuisances olfactives

Les remarques suivantes peuvent être faites :

- Pour les entrepreneurs certifiés VCA ou de manière équivalente, les mesures énumérées dans le **tableau 12** et ayant trait à la sécurité sont systématiquement d'application ;
- La check liste du **tableau 12** est valable pour les entrepreneurs et leurs sous-traitants dans leurs domaines d'intervention respectifs ;
- En règle générale, les visites d'inspection à mener sur le chantier sont à exécuter au minimum sur une base bimensuelle ;
- Pour les conduites de collecte et d'amenée des liquides pompés, on privilégiera de manière systématique les conduites enterrées de manière à éviter les accidents, l'incidence du gel (condensats) et les actes de vandalisme ;
- Lorsque les installations de traitement sont proches de bâtiments, des analyses de l'air seront effectuées au sein de ces bâtiments de manière à mesurer l'importance des teneurs en composés volatils. Ces mesures seront effectuées lors du lancement du chantier, 1 fois après 2 semaines de traitement et ensuite à une fréquence de 3 mois ;
- Lorsqu'un risque d'explosion est avéré au niveau des conduites ou de la station de traitement, le risque d'explosion (LEL) sera mesuré en continu et le système sera mis en sauvegarde dès mesure de dépassements de 10 % de la LEL (entrée d'air et alarme).

12.2 Check listes succinctes pour les experts en pollution du sol

La check liste à destination des experts est présentée dans le **tableau 13**. Cette liste vise à aider les experts dans la rédaction des descriptifs des travaux, les estimations de coût et l'élaboration des cahiers de charge à destination des entrepreneurs.

Tableau 13 : check liste à l'intention des experts

Rubrique	Vérification
Informations préalables complètes et suffisantes (études préalables, cahier de charge, descriptif des travaux, ..)	
Polluants présents et/ou à traiter dans l'eau à pomper	Nature des polluants présents à traiter, teneurs et variations possibles des teneurs , présence d'une phase libre surnageante, évolution attendue des teneurs (évolution mesurée, potentiel d'atténuation naturelle)
Cibles sensibles	Cibles sensibles présentes sur et aux alentours du chantier bien identifiées
Aspects techniques de l'installation de traitement	Descriptif du dispositif de traitement (localisation, dimension , capacités ...) Définition des quantités physiques : débits, pressions, dépressions, T° ... Définition du mode d'opération : réactifs, conditions de pH, ... Les prescriptions techniques sont-elles adaptées à la qualité et aux débits des eaux à traiter
	Mode de fonctionnement du dispositif : continu vs intermittent. Risques de colmatage. Actions correctives et d'optimisation possibles.
	Vérification a priori de la performance du dispositif : sur base des données disponibles, des tests de laboratoires,
Points de rejets	Points de rejet de l'eau et des gaz traités issus du traitement identifiés et compatibles avec les caractéristiques du site. Autorisations demandées et obtenues
Identification des autorisations nécessaires et des cadres normatifs à respecter	Vérifier que les autorisations nécessaires ont été demandées par le donneur d'ordre. Vérifier la cohérence des performances demandées avec les cadres normatifs en vigueur. Les procédures prévues sont-elles en conformité avec les codes de bonne pratique et les autres recommandations de Bruxelles Environnement
Identification des procédures particulières à respecter	Identifier les procédures particulières et vérifier que leur respect est bien pris en compte dans le cahier des charges ou le descriptif des travaux : transport des déchets dangereux (condensats), rejets gazeux,
Les lignes de communication sont définies	Identité et coordonnées du maître d'œuvre, du donneur d'ordre, de l'agent de Bruxelles Environnement , des autorités compétentes sont connues
Identification et nature des risques	Risque d'explosion dans les canalisations de collecte et la station de traitement du fait de la présence de composés volatiles
	Risques de pollution du sol et des eaux souterraines du fait du stockage de produits dangereux et/ou polluants
	Risques climatiques : gel des conduites et des installations
	Risques liés à la circulation si infrastructures présentes sur la voie publique
Mesures préventives	Pour chacun des risques identifiés, identification et mise en place des mesures préventives y inclus la formation du personnel
Personnes et services à contacter en cas de problème	Pour chacun de risques identifiés, identité et coordonnée des personnes et/ou service à contacter : service incendie, commune, protection civile, exploitant des réseaux
Identification des nuisances possibles	Odeur et vapeurs dangereuses pour le voisinage en cas de fuites et pertes à partir des installations
	Bruit des équipements : pompes, groupes électrogènes,

	Encombrement des voiries
Mesures préventives	Pour chacune des nuisances identifiées, identification et description des mesures préventives
	Mise en place d'explosimètres, de systèmes d'alarme et de mise à l'arrêt et de sauvegarde (entré d'air dans les canalisations)
Planning et contenu des opérations de suivi, de validation et de suivi à long terme (post-gestion)	
Dispositif de suivi	Descriptif du dispositif de suivi : Débitmètres, manomètre et sondes de t° au niveau des installations et points d'échantillonnage de l'eau lors des différentes étapes du traitement , échantillonnage de l'air ambiant ... Prise en compte des cibles sensibles à protéger.
Paramètres du suivi	Mesures des débits d'eau à traiter, teneurs dans l'eau à traiter (variations et évolution) , présence d'une phase libre, paramètres du traitement (T°, pH, débits, pressions, consommations de réactifs, de charbon, ...). Teneurs dans les eaux de rejets et l'es effluents gazeux.
Paramètres d'optimisation	Agencement des différents modules, modification des prétraitements, calibration des réactifs, débits et temps de passage, fréquence des entretiens. Adaptation du dispositif à l'évolution de la qualité des eaux traitées.
Rapportage	Planning pour la soumission du premier rapport intermédiaire et des rapports intermédiaires suivants.
	Les données recueillies sont-elles suffisantes pour la rédaction de ces rapports ?

13 Sources bibliographiques

Les sources bibliographiques utilisées lors de la rédaction de ce document sont les suivantes :

- Code van goede praktijk : Pump & Treat, Deele 2, Bovengrondse grondwaterbehandeling , OVAM, 2002;
- Achilles, Veiligheid, gezondheid en milieuzorgsysteem voor on-site bodemsanering werken, OVAM 2001;
- Standaardprocedure Bodemsaneringwerken, Eindevaluatieonderzoek en Nazog-versie oktober 2011, OVAM.
- Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems. EPA 1997