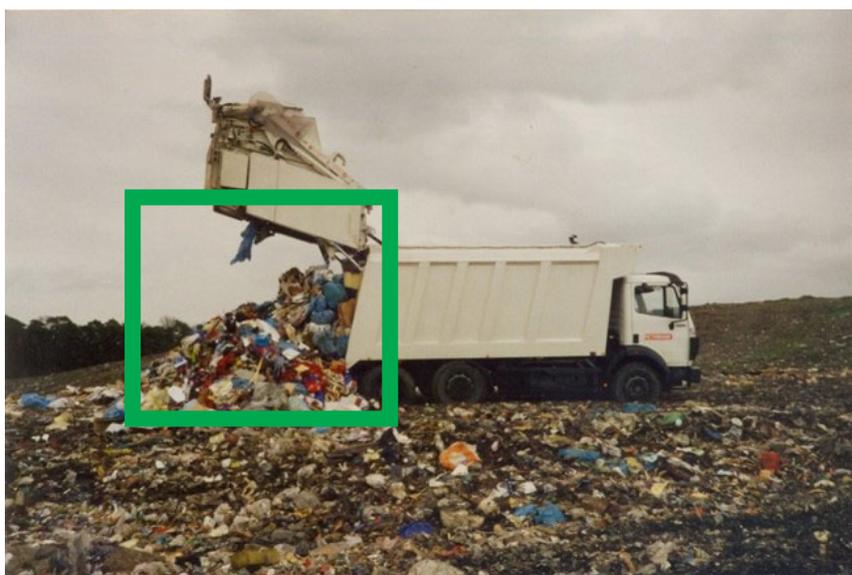


Consultation relative à l'aérobisation des décharges de déchets urbains en Suisse



Évaluation et synthèse de
4 mandats de consultation



Mandant

Office fédéral de l'environnement
OFEV, division Déchets et matières premières
Monbijoustrasse 40
3011 Berne

Pour le sujet de l'aérobisation

IFAS Bureau d'études pour la gestion des déchets
HiiCCE - Institut pour l'innovation, la protection du climat et l'économie circulaire de la ville de Hambourg

Date

27.01.2025

Chargé-e de dossier

Rafael Schuler
Kai Uwe Heyer
Marco Ritzkowski
Traduction : sim-phonie

Projet n°

BE 721A

Olten

Winterthur

Wollerau

Zürich

Bern Fliederweg 10
CH-3007 Bern
+41 31 382 35 35
scpbern@scpag.ch
www.scpag.ch



Note

Ce rapport a été rédigé à la demande de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le contractant est seul responsable de son contenu.

Mentions légales :

Nom du fichier / version	Auteur	Co-expert	Envoi à	Date
BE721A_AuswertungAerobisierung_v1.3	Rsc- 19.11.24	sc – 25.11.24	1	26.11.2024
BE721A_AuswertungAerobisierung_v2.3_F	Rsc- 03.12.24	TL, RT – 03.12.24	1	04.12.2024 27.01.2025

Nom	Société	Destinataire
M. Thomas Lepke et M. Reto Tietz	Office fédéral de l'environnement OFEV, division Déchets et matières premières, lieu	1

Sommaire

1. Situation de départ	4
<hr/>	
2. Décharge «1» dans le canton «A»	6
2.1. Situation de départ	6
2.2. Problématique	6
2.3. Essai pilote	6
2.4. Propositions d'optimisation de la part de consultants externes	7
2.5. Conclusion et recommandation	7
<hr/>	
3. Décharge «2» dans le canton «B»	8
3.1. Situation de départ	8
3.2. Problématique	8
3.3. Propositions d'optimisation de la part de consultants externes	9
3.4. Mesures alternatives : confinement et surveillance	9
3.5. Conclusion et recommandation	10
<hr/>	
4. Décharge «3» dans le canton «C»	11
4.1. Situation de départ	11
4.2. Propositions d'optimisation de la part de consultants externes	12
4.3. Conclusion et recommandation	12
<hr/>	
5. Décharge «4» dans le canton «D»	14
5.1. Situation de départ	14
5.2. Essai pilote, fosse d'aération	14
5.3. Propositions d'optimisation de la part de consultants externes	15
5.4. Conclusion et recommandation	16
<hr/>	
6. Enseignements tirés des consultations	17



1. Situation de départ

La Suisse compte près de 15 000 anciens sites de stockage, dont un peu moins de la moitié sont des décharges de déchets urbains. En fonction de la composition des déchets, ces sites présentent des quantités variables de déchets organiques ou de composants organiques de déchets. Bien que la mise en décharge de déchets organiques et de déchets urbains non traités soit interdite en Suisse depuis 2000, il faut s'attendre à ce que les anciennes décharges continuent à émettre des substances dangereuses pour l'environnement sur le long terme.

Les produits de dégradation de ces déchets (principalement des composés azotés comme l'ammonium et le nitrate ainsi que des composés organiques – déterminés analytiquement par les paramètres totaux DCO et COD – dans les lixiviats ainsi que les émissions de méthane et de dioxyde de carbone dans les gaz de décharge ayant un impact sur le climat) sont donc souvent à l'origine de mesures d'assainissement concernant les biens à protéger que sont les eaux souterraines, les eaux superficielles, l'air et le climat.

Outre les critères de l'Ordonnance sur les sites contaminés (OSites) relatifs au besoin d'assainissement d'anciennes décharges, il existe souvent des incertitudes, sur la base des résultats d'estimations de la mise en danger (Ordonnance sur les déchets, Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets OLED), quant au moment où les émissions seront compatibles avec l'environnement. L'OLED stipule à cet égard que la décharge de même que les compartiments de celle-ci ne doivent représenter aucun danger pour l'environnement, et qu'aucun risque environnemental ne doit être probable dans les 50 ans suivant la fermeture de la décharge.

Comme mesure d'assainissement, notamment au niveau des grandes décharges créées dans les années 70 et 80, la décontamination totale du site ne constitue généralement pas une priorité car cela engendre des coûts disproportionnés. Depuis quelques années, de plus en plus de mesures d'aérobisation et d'irrigation in situ ont été prises en Suisse et à l'étranger pour intensifier le schéma de dégradation dans le corps des décharges de déchets urbains dans des conditions contrôlées afin d'accélérer la transition vers un état pauvre en émissions et respectueux de l'environnement.

L'aérobisation permet de réduire à court terme les émissions de gaz de décharge nuisibles pour le climat, et à moyen et long terme les émissions de lixiviats. Pour que le procédé puisse s'implanter en Suisse, l'assainissement par aérobisation doit être développé dans les années à venir.

À cet effet, Sieber Cassina + Partner AG a réalisé en 2022 une expertise (cf. [1]) en collaboration avec des bureaux de planification de décharges spécialisés de Hambourg en Allemagne (IFAS et HiiCCE) ainsi qu'avec l'entreprise carbotech AG, spécialisée dans la réalisation d'écobilans. Les résultats de cette expertise montrent que le procédé d'aérobisation peut être une mesure d'assainissement intéressante pour les anciennes décharges. Mais les mesures d'aérobisation permettent également de réduire les émissions de méthane et de CO₂, des gaz qui ont un impact sur le climat. Plus les mesures d'aérobisation peuvent être mises en œuvre tôt, plus grands sont leurs avantages écologiques, notamment en ce qui concerne la protection du climat.

Anciennes décharges en Suisse

Produits de dégradation (composés azotés)

Réglementation de l'OLED relative aux dangers pour l'environnement

L'aérobisation comme mesure d'assainissement

Réduction des gaz de décharge



Dans le cadre d'un mandat de consultation pour les années 2023 et 2024, documenté dans le présent rapport, des projets d'aérobisation en cours ont été conjointement examinés, à la demande des services cantonaux compétents, au regard des aspects suivants :

- consultation relative à l'étendue des études d'assainissement.
- consultation relative aux projets pilotes éventuellement nécessaires.
- consultation relative à l'élaboration d'un projet d'assainissement.
- consultation relative à l'exploitation des installations d'aérobisation et de dégazage.

Dans le cadre de ce mandat de consultation, quatre projets ont été suivis et évalués. Les projets ci-après sont anonymisés.

- Décharge «1» dans le canton «A», questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas d'une ancienne décharge de déchets urbains «1» en janvier 2023
- Décharge «2» dans le canton «B», questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas de la décharge «2» dans le canton «B» - évaluation de variantes d'assainissement concernant les PFAS en mars 2023
- Décharge «3» dans le canton «C», questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas de la décharge «3» dans le canton «C» en juin 2023
- Décharge «4» dans le canton «D», deuxième avis sur la situation ainsi que sur l'assainissement de la décharge de déchets urbains «4» en juillet 2024

Mandat de consultation



2. Décharge «1» dans le canton «A»

2.1. Situation de départ

L'ancienne décharge «1», située dans une petite commune du canton «A», a servi entre 1969 et 1975 de décharge pour les déchets de chantier et les déchets urbains. Elle se trouve dans une dépression comblée et est aujourd'hui utilisée à des fins agricoles. Des analyses de polluants ont mis en évidence une contamination des eaux souterraines au chlorure de vinyle et aux gaz fréon provenant de la décharge. Les émissions de méthane issues du corps de la décharge posent également problème. Ces constatations engendrent un besoin d'assainissement, notamment pour protéger les eaux souterraines. L'aérobisation, qui consiste en une stabilisation biologique des déchets par un apport en oxygène, a été proposée comme méthode d'assainissement potentielle (cf. [2]).

Ancienne décharge de déchets de chantier et de déchets urbains



2.2. Problématique

Les principaux défis et questions ci-après ont été soulevés par le service cantonal compétent dans le cadre de ce projet :

- **Sources de polluants et processus de dégradation** : la principale menace pour les eaux souterraines provient des HCC (en particulier chlorure de vinyle) et des CFC (gaz fréon). Pendant la phase pilote de l'aérobisation, il convient de vérifier dans quelle mesure les charges polluantes dans le corps de la décharge et dans les eaux souterraines peuvent être efficacement réduites. La dégradation du fréon 11 dans le corps de la décharge est notamment considérée comme un facteur critique, car ce polluant détermine en grande partie le besoin d'assainissement.
- **La décharge est relativement petite et son épaisseur de remblai est faible** (entre 1,5 m et 3,5 m env.). De même, la couche de séparation est faible avec 0,3 m de constitution du sol. La question se pose de savoir si les zones fortement polluées peuvent être atteintes par aérobisation et si le procédé s'avère rentable pour une décharge aussi peu profonde. Il existe également le risque que les influences de surface puissent avoir un impact sur le procédé.
- **Représentativité des données antérieures** : un examen détaillé des mesures de polluants antérieures est nécessaire, sur la base d'échantillons de déchets solides supplémentaires, afin de s'assurer que la base de données reflète précisément l'état de contamination actuel. Il convient de déterminer si la contamination des eaux souterraines est généralisée ou ponctuelle.

Principaux défis et questions

2.3. Essai pilote

Un essai pilote d'aérobisation a été proposé pour le projet. Les aspects à étudier dans le cadre de l'essai pilote sont les suivants :

- La circulation et la composition des gaz dans le corps de la décharge afin d'évaluer la faisabilité technique de l'aération et de l'aspiration.
- La biodégradation de la matière organique et la réduction des substances polluantes qui en découle par voie gazeuse et aqueuse.
- L'efficacité des systèmes d'aspiration et d'aération ainsi que la nécessité éventuelle de puits de captage de gaz complémentaires.
- **Extension de l'infrastructure existante** : l'aptitude des puits et forages existants à accueillir des mesures d'aération et d'aspiration devrait être examinée, et des adaptations apportées en conséquence, le cas échéant.

Aspects à examiner dans le cadre de l'essai pilote

2.4.

Propositions d'optimisation de la part de consultants externes

Afin d'assurer une aération complète du corps de la décharge, des puits de captage de gaz supplémentaires pourraient s'avérer nécessaires. Ceux-ci doivent être placés de manière stratégique afin d'assurer aussi l'aération de zones difficiles d'accès. Des drainages horizontaux pourraient également fonctionner de manière ciblée dans le cas présent. Des mesures d'aération par le fond de la décharge pourraient aussi s'avérer efficaces dans ce cas.

La gestion des surfaces peut être considérée comme une mesure d'accompagnement de l'aérobisation. La limitation de l'exploitation agricole et la réduction des apports de lisier pourraient notamment s'avérer nécessaires pour soutenir les processus de dégradation aérobie.

- **Définir des objectifs d'assainissement** : des critères clairs doivent être définis en ce qui concerne les résultats de l'assainissement, p. ex. la réduction des concentrations de HCC et de CFC dans les eaux souterraines ou la réduction du potentiel de formation de méthane.
- **Programmes de monitoring** : des mesures régulières de la composition des gaz, des concentrations de polluants dans les eaux souterraines et de la biodégradation dans le corps de la décharge sont nécessaires pour évaluer l'évolution de l'assainissement.

La faisabilité, la durée de l'assainissement et une estimation détaillée des coûts peuvent être établies après évaluation de l'essai pilote. En amont de ce dernier, les données disponibles rendent l'évaluation difficile et imprécise. Les coûts de l'assainissement ont été estimés à près d'un million de francs, et sa durée entre 4 et 10 ans. L'évaluation n'a pas pu être plus détaillée sans essai pilote dans le cadre du mandat de consultation.

Outre l'aérobisation, des méthodes d'assainissement alternatives comme le démantèlement de la décharge ont été examinées dans le cadre d'études antérieures, mais ont été jugées moins appropriées. Le faible recouvrement du sol de la décharge (30 cm env.) contribue à une formation élevée de lixiviats, ce qui pourrait renforcer le déversement de polluants dans les eaux souterraines. En conséquence, une étanchéification de la surface doit également être envisagée pendant ou après l'aération afin de minimiser l'impact d'un tel déversement.

2.5.

Conclusion et recommandation

La mise en œuvre d'un essai pilote correctement planifié constitue la prochaine étape décisive pour valider l'adéquation de l'aérobisation à la décharge «1». Un assainissement réussi pourrait réduire la pollution des eaux souterraines sur le long terme et stabiliser la zone sur le plan écologique. Des investissements dans l'infrastructure technique ainsi qu'un monitoring complet s'avèrent toutefois indispensables pour garantir le succès de l'assainissement. Outre les mesures classiques de l'air interstitiel, les résultats de l'assainissement pourraient être démontrés à l'aide d'un bilan carbone. La crainte qu'une aérobisation s'avère impossible dans des décharges anciennes aussi peu profondes a pu être écartée grâce à des exemples de référence réussis.

Puits de captage de gaz supplémentaires

Gestion des surfaces

Surveillance et contrôle des résultats

Coûts et durée difficiles à estimer sans essai pilote

Scénarios alternatifs et questions ouvertes

Estimation



3. Décharge «2» dans le canton «B»

3.1. Situation de départ

La décharge «2», située dans le canton «B», est considérée comme nécessitant un assainissement au sens de l'OSites. La méthode d'assainissement initiale proposée était l'aérobisation, combinée à une surveillance des eaux souterraines, afin de réduire les charges polluantes. Dans l'éventualité où l'assainissement entraînerait soudain une mobilisation accrue de polluants dans les eaux souterraines en raison de l'aérobisation ou d'autres influences liées au développement de la décharge, un captage et une évacuation des lixiviats de décharge pollués ont été assurés au moyen d'une paroi étanche, conformément aux prescriptions du service cantonal compétent. Dans le cadre de la surveillance en cours des eaux souterraines concernant les PFAS depuis 2020, le service cantonal compétent a estimé, sur la base des résultats d'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées en aval, qu'un assainissement s'impose également pour ces dernières au niveau de la décharge «2» (cf. [3]). La question s'est posée de savoir si le principe d'aérobisation pouvait également avoir un effet significatif sur les PFAS.

3.2. Problématique

Exploitée entre 1949 et 1978, la décharge contient différents types de déchets comme des déchets urbains, des boues d'épuration et des déchets industriels. Il n'y a pas d'étanchéification qualifiée du fond ou de la surface. Les analyses montrent que la partie inférieure du corps de la décharge est saturée d'eau interstitielle avec une hauteur d'accumulation de 10 à 12 m env. Les concentrations de PFAS ainsi que de PFBA (acide perfluorobutanoïque) et de PFOA (acide perfluorooctanoïque) dépassent les valeurs limites autorisées au niveau de certains points de mesure, notamment directement en aval de la décharge.

Les PFAS sont des substances très stables avec une forte liaison carbone-fluor, ce qui les rend résistants à la dégradation chimique et biologique. Les PFAS à chaîne longue comme le PFOA s'avèrent particulièrement persistantes et bioaccumulables, tandis que les substances à chaîne courte comme le PFBA ont un impact environnemental moindre. Les conditions aérobies favorisent la transformation des précurseurs PFAS en produits finaux stables et non dégradables. On s'attend donc à ce que l'aérobisation ne provoque pas de dégradation significative des PFAS. Sur la base de l'évaluation effectuée, il n'existe donc pas (encore) de méthode d'assainissement actif techniquement réalisable, efficace et abordable financièrement pour les PFAS dans la décharge «2» en l'état actuel des connaissances.

Les études antérieures et actuelles montrent que la décharge «2» présente depuis de nombreuses années des émissions de polluants à peu près stables ou en baisse. On part du principe que ce schéma s'applique également aux PFAS. L'urgence d'un assainissement est donc considérée à l'heure actuelle comme « faible à moyenne ». En raison de la dilution, l'adsorption et la biodégradation, les charges en PFAS diminueraient rapidement pour atteindre des teneurs non problématiques ou disparaîtraient complètement lors de leur écoulement dans les eaux souterraines de la vallée de la Limmat. Dans l'ensemble, le potentiel de libération concernant les PFAS peut être considéré comme faible.

Déchets urbains, boues d'épuration et déchets industriels



Caractéristiques de la décharge

Propriétés des PFAS et impact de l'aérobisation

Évolution des polluants jusqu'à présent

Différentes approches d'assainissement ont été évaluées :

1. **Décontamination** : des procédés comme l'excavation ainsi que des méthodes in situ ont été exclues en raison d'obstacles techniques et financiers.
2. **Confinement** : l'étanchéification de la surface ou la mise en place d'une paroi étanche a été proposée comme solution de repli éventuelle afin d'empêcher la poursuite du déversement de polluants.
3. **Atténuation naturelle contrôlée (MNA)** : l'objectif d'assainissement est atteint dans le délai requis sans mesures d'assainissement actives, grâce à des processus de dégradation et de rétention naturels.
4. **Atténuation naturelle dynamisée (ENA)** : l'aérobisation a été proposée comme projet pilote afin de tester la faisabilité et les impacts sur la situation des PFAS.

*Options
d'assainissement*



Le projet pilote relatif à l'aérobisation vise à déterminer si une aération ciblée du corps de la décharge peut entraîner la mobilisation ou la fixation des polluants. Le procédé de sur-aspiration était prévu pour le projet pilote.

Projet pilote

3.3. Propositions d'optimisation de la part de consultants externes

Le projet pilote prévu couvre les deux tiers de la surface de la décharge, ce que l'autorité compétente du canton «B» considère comme un assainissement presque complet. Les conseillers externes d'IFAS, HiiCCE et SC+P soutiennent en principe le concept, mais attirent l'attention sur les défis suivants :

Ampleur et défis

- Données insuffisantes : il manque des connaissances précises sur la répartition des polluants et la composition des matériaux du corps de la décharge. Des forages supplémentaires s'imposent.
- Sur la base des expériences d'IFAS, HiiCCE et SC+P, un apport actif d'oxygène s'avère nécessaire en complément du concept d'aspiration et de sur-aspiration proposé. Cette exigence est justifiée par le volume significatif de la décharge, la couverture de surface existante et la saturation de l'eau interstitielle comme facteur limitant supplémentaire.
- Scénario à long terme : la durée de mise en œuvre de dix ans pour l'essai pilote est considérée comme une variante maximale. Grâce à une démarche itérative et une certaine flexibilité pour l'adaptation du programme d'étude, l'essai pilote peut être optimisé et raccourci, le cas échéant.
- Étapes intermédiaires : il est proposé de procéder à des investigations préalables avec des analyses de déchets solides et des études d'orientation en laboratoire concernant le schéma de dégradation lors d'une mesure d'aération ainsi que le schéma de libération de polluants comme les PFAS. Des essais d'aspiration et d'aération ainsi que de pompage seront ensuite réalisés sur une période plus courte.

3.4. Mesures alternatives : confinement et surveillance

L'étanchéification de la surface peut réduire l'infiltration d'eaux météoriques et ainsi minimiser la mobilisation de polluants. Cette méthode est considérée comme plus simple à mettre en œuvre et moins onéreuse qu'une paroi étanche. Elle pourrait également être combinée à une approche de type « pompage et traitement » afin de détecter les polluants à la sortie de la décharge.

*Confinement
par étanchéification
de la surface*

Les consultants externes d'IFAS, HiiCCE et SC+P proposent d'installer des puits de pompage dans le corps de la décharge afin de capter les lixiviats contaminés. Cette méthode pourrait réduire efficacement les charges polluantes avant qu'elles n'atteignent les eaux souterraines. Afin de purifier l'eau, ils préconisent l'adsorption sur charbon actif ou l'osmose inverse, sachant qu'une élimination thermique des polluants concentrés serait nécessaire.

Procédé de pompage et de traitement



La surveillance continue des concentrations de PFAS et des fractions dans les eaux souterraines reste essentielle. Des points de mesure doivent être mis en place plus en aval de la décharge afin de quantifier les contaminations effectives et de pouvoir réagir à temps aux changements.

Suivi à long terme



3.5.

Conclusion et recommandation

Les évaluations d'IFAS, HiiCCE et SC+P coïncident en grande partie avec les conclusions de l'expertise :

Un large consensus

- Le projet pilote est considéré comme nécessaire pour clarifier les questions en suspens, mais devrait être soutenu par des mesures complémentaires comme des forages et une surveillance supplémentaires. L'extension du procédé avec un apport actif d'oxygène et une démarche itérative avec des étapes intermédiaires est toutefois recommandée.
- L'aérobisation n'est pas considérée comme capable d'une dégradation significative des PFAS, mais pourrait fournir des informations essentielles pour d'autres groupes de polluants.
- Les risques liés aux PFAS sont considérés comme limités en raison des faibles taux de libération et de la dilution dans l'écoulement des eaux souterraines.
- Des alternatives comme l'étanchéification de la surface ou des procédés de pompage et de traitement peuvent toutefois être étudiées en complément.
- Une paroi étanche n'est pas jugée nécessaire pour les prochaines étapes de l'étude et les premières mesures d'assainissement au sens d'un projet pilote, et ne devrait être installée qu'en cas de déversement important de polluants, menaçant fortement les eaux souterraines comme bien à protéger, et si aucune solution alternative n'est envisageable.

L'urgence d'un assainissement complet est jugée faible. Une combinaison de monitoring, de mesures de confinement sélectives et d'une démarche itérative est recommandée comme approche judicieuse pour stabiliser la décharge sur le long terme et minimiser les atteintes environnementales.

Urgence faible

4. Décharge «3» dans le canton «C»

4.1. Situation de départ

La décharge «3» dans le canton «C» a été remplie entre 1975 et 2003 de déchets ménagers, de mâchefer et de sols contaminés, et se trouve depuis 2006 en phase de gestion après fermeture. La décharge comprend sept compartiments, dont les plus anciens ont déjà atteint une grande stabilité biologique. L'accent est actuellement mis sur les compartiments plus récents (V à VII), qui présentent encore un potentiel de formation de gaz significatif. La décharge dispose d'une étanchéification de fond et de surface, ainsi que de systèmes de captage des lixiviats et des gaz de décharge. La décharge a une superficie totale de près de 8 hectares, avec une profondeur de stockage moyenne de 19,3 m. La composition des déchets est la suivante : 45 % de matières organiques (p. ex. bois, papier), 42 % de matières plastiques et de textiles et 13 % de substances minérales et inertes. Des analyses d'échantillons de forage ont montré que l'activité biologique des matières organiques est suffisante pour une aérobi-sation. Les sections V à VII, en particulier, présentent encore un potentiel de formation de gaz significatif. Des analyses FID (**détecteur à ionisation de flamme**) en surface ont permis de mesurer des concentrations significatives de méthane (mélanges de gaz potentiellement explosifs), en particulier près des ouvrages de décharge existants, p. ex. à proximité de puits ou de compartiments (pénétration de l'étanchéité de surface). Le monitoring du tassement confirme que celui-ci a pratiquement disparu dans les sections les plus anciennes de la décharge, tandis qu'un tassement significatif se produit encore dans les sections les plus récentes (cf. [4]).

L'installation de dégazage existante se compose d'une combinaison de sondes et de puits de captage de gaz verticaux ainsi que de drainages horizontaux. Le système de captage de gaz nécessitant un assainissement en raison de tassements et d'une accumulation d'eau et devant être complété, des variantes d'assainissement ont été évaluées. Dans ce contexte, des essais de pompage de gaz ont également été réalisés. Les variantes d'assainissement suivantes sont à l'étude :

- La variante 1 comprend un test sur le long terme de 24 mois env. (essai d'aspiration à long terme) dans le but de déterminer le potentiel actuel de formation de gaz dans trois zones de la décharge d'âges différents. Pour ce faire, trois des nouveaux forages/puits de captage de gaz seraient réalisés et aspirés à l'aide d'un nouveau système de conduites.
- La variante 2 prévoit un test sur le long terme étendu de 36 mois env., similaire à la variante 1 mais incluant les 9 nouveaux forages/puits de captage, ce qui impliquerait un investissement technique accru pour les essais d'aspiration.
- La variante 3 prévoit la construction de 27 puits de captage de gaz supplémentaires ainsi que l'installation d'une centrale à énergie totale équipée (CETE) sur le site. Tous les nouveaux puits (36) ainsi que l'infrastructure existante pour le captage du gaz seront ensuite fortement aspirés (durée : 22 mois env.), entraînant une aérobi-sation progressive de la décharge.

Les principaux objectifs du projet sont d'étudier la faisabilité et la réalisation d'une aérobi-sation afin d'accélérer la stabilisation biologique de la masse de déchets, de réduire les émissions de gaz et d'améliorer la qualité des lixiviats.

Introduction et
contexte



Variantes
d'assainisse-
ment du sys-
tème de cap-
tage de gaz

Objectifs de
l'assainisse-
ment

L'activité biologique a été jugée suffisante en vue d'une aérobisation, avec un carbone biodégradable moyen (C_{bio}) de 9,8 kg/Mg MS. (matière sèche) La teneur en eau de 36 % est adaptée aux processus de biodégradation. Les analyses récentes de déchets solides se réfèrent déjà à la présente expertise concernant les procédés d'aérobisation en Suisse (cf. [1]).

L'étanchéité du fond et de la surface de la décharge est intacte dans l'ensemble. Les fuites de lixiviats contaminés dans le sous-sol sont en grande partie évitées, de sorte que même en cas de mise en œuvre d'un projet d'aération sur le site, il ne faut pas s'attendre à des atteintes importantes portées au sol ou aux eaux souterraines. L'efficacité de l'étanchéité de surface a été démontrée par les faibles volumes d'infiltration.

Inventaire des déchets et activité biologique



Influence des barrières et de l'étanchéification sur l'aérobisation



4.2.

Propositions d'optimisation de la part de consultants externes

L'étanchéification minérale de la surface empêche toute entrée régulière d'air et ralentit considérablement le processus d'aérobisation en cas de simple sur-aspiration. Les conseillers externes d'IFAS, HiiCCE et SC+P estiment donc qu'une simple aspiration ou sur-aspiration n'est pas efficace. Un apport d'air actif via des puits et des drainages horizontaux est recommandé afin d'assurer une répartition complète.

Étanchéification minérale de la surface

Près de 30 % du volume de la décharge est concerné par une accumulation d'eau. Cette situation pourrait réduire l'efficacité de l'aérobisation, l'apport d'oxygène étant limité dans les zones saturées. C'est pourquoi il est proposé d'abaisser le niveau piézométrique à l'aide d'un puits combiné afin que l'aérobisation puisse également atteindre les zones inférieures du corps de la décharge.

Accumulation d'eau

La contamination des lixiviats de la décharge se caractérise par des concentrations élevées d'ammonium (NH_4-N) et des polluants organiques modérés (DCO, COT). Les effets de l'aération pour accélérer la dégradation des composants organiques dans les déchets entraînent une diminution progressive de la contamination des lixiviats de décharge.

Amélioration de la qualité des lixiviats

On peut s'attendre à ce que l'aération, avec la dégradation aérobie des composés organiques et la libération dans la phase gazeuse, entraîne une diminution accélérée des paramètres DCO et COT ainsi que de l'azote (NH_4-N) dans les lixiviats suite aux processus de nitrification et de dénitrification. Il faut cependant tenir compte du fait que la modification des conditions de pression et des voies d'écoulement des lixiviats dans le corps de la décharge peut également entraîner la mobilisation de liquides qui, dans les conditions statiques qui prévalaient avant le début de l'aération, n'auraient pas été évacués ou ne l'auraient été que très tardivement.

4.3.

Conclusion et recommandation

L'aérobisation prévue offre une opportunité intéressante d'accélérer la stabilisation biologique de la décharge «3» et de réduire les atteintes environnementales sur le long terme. Avec près de 19 m (max. 26 m), la profondeur de la décharge est considérée en principe comme appropriée pour l'application de procédés d'aérobisation. Cependant, la saturation de l'eau interstitielle ou l'accumulation existante au-dessus du fond de la décharge pourrait s'avérer difficile, comme expliqué précédemment. Les conseillers externes d'IFAS, HiiCCE et SC+P estiment que les données disponibles sur le dégazage de la décharge qui a eu lieu jusqu'à présent, combinées aux informations détaillées sur l'état des déchets mis en décharge (issues des analyses en laboratoire des échantillons de déchets solides), permettent de tirer des conclusions suffisantes quant à la suite des

L'aérobisation est indiquée

opérations dans le cadre de la gestion après fermeture. Ils se prononcent en faveur d'une mise en œuvre de la variante 3 de l'analyse des variantes, avec les compléments suivants :

- Puits combinés : l'aménagement de puits verticaux en vue du prélèvement combiné de gaz et d'eau est recommandé afin d'augmenter l'efficacité de l'aérobisation.
- Technique adaptée : un système combiné d'apport d'air actif et d'extraction de gaz est privilégié. Une aération à basse pression et un prélèvement parallèle de lixiviats pourraient optimiser la stabilisation. L'utilisation du système de drainage horizontal inférieur peut également être examinée.
- Valorisation du gaz : en raison des faibles taux de formation de gaz, la valorisation énergétique est déconseillée. Il est plutôt recommandé d'utiliser des torchères modernes pour gaz pauvre.

Optimisations



5. Décharge «4» dans le canton «D»

5.1. Situation de départ

L'ancienne carrière d'argile d'une briqueterie dans le canton «D» a été remplie entre 1935 et 1960 avec près de 205 000 m³ d'ordures ménagères ainsi que 500 000 à 750 000 m³ de déblais, de déchets de chantier et de sable de fonderie. La zone remplie de déchets urbains (ordures ménagères) (site partiel d'une superficie de 23 500 m² env.) est aujourd'hui répertoriée dans le cadastre des sites pollués du canton «D» comme ayant besoin d'être assaini au sens de l'OSites. Entre 1947 et 1959, des déchets urbains (ordures ménagères), des sables et des scories de fonderie ainsi que des déblais mélangés à des déchets de chantier ont été déposés à proximité de ce site partiel. À la base de l'ancienne carrière d'argile se trouvent des couches de terre glaise naturelle quasiment imperméables qui retiennent les lixiviats dans la zone de la décharge. Les lixiviats sont captés via une conduite d'évacuation et déversés dans un exutoire (Hornbach). La décharge ne dispose ni d'une étanchéification de fond et de surface qualifiée, ni de systèmes de captage des lixiviats et des gaz de décharge (cf. [5]).

L'air interstitiel présente des concentrations de gaz de décharge qui dépassent les valeurs de concentration correspondantes de l'OSites, Annexe 2 (entre autres 0,5 % vol. de CO₂ et 1,0 % vol. de CH₄). Au cours de l'année, une aéro-bisation a été évaluée comme variante d'assainissement à privilégier pour le site. En 2015, l'évaluation des variantes d'assainissement a été complétée par une prise en compte des mesures d'assainissement passives en raison de la crainte que l'aéro-bisation puisse entraîner des tassements différentiels et causer des dommages aux bâtiments en raison de la dégradation microbienne accélérée. Une combinaison de restrictions d'usage dans les jardins des terrains avoisinants, de mesures de protection liées au gaz dans les sous-sols des habitations et de bouches d'évacuation de gaz avec gravier filtrant (fosse d'aération) a été préférée à l'aéro-bisation et poursuivie (cf. [5]). Pour les fosses d'aération, un essai pilote a été exigé par le service cantonal compétent.

D'anciennes mesures de lixiviats de décharge effectuées à des dates de référence montrent que les concentrations de COD et de DBO₅ sont certes modérées. Toutefois, en présence de quantités de lixiviats très élevées, les charges polluantes en NH₄ et en carbone organique (COD) sont importantes.

5.2. Essai pilote, fosse d'aération

La construction de la fosse d'aération pilote, d'une profondeur de 5 m et d'une longueur de 30 m (remplie de gravier drainant 16/32), a eu lieu en avril 2020. Pour évaluer l'efficacité de la fosse d'aération, 15 points de mesure de l'air interstitiel ont été mis en place à différentes distances de la fosse d'aération (5, 10 et 20 m). Les résultats peuvent être résumés comme suit, en fonction de la distance entre les points de mesure et la fosse d'aération ainsi que des valeurs de CO₂ et de CH₄ mesurées :

- À proximité de la fosse d'aération (5 m), les concentrations de méthane ont diminué en moyenne de 49 % sur 3 ans (par rapport à la mesure initiale), tandis que les concentrations de dioxyde de carbone ont augmenté de 54 % sur la même période.
- L'effet de l'apport d'air est certes limité localement en raison de la faible surface de la fosse d'aération, mais une augmentation de 95 % des concentrations de CO₂ a été constatée à 10 m de la fosse d'aération, atteignant un

Ancienne décharge dans une carrière d'argile avec une zone destinée aux déchets urbains

Besoin d'assainissement de l'air interstitiel comme bien à protéger

Écoulement de lixiviats

Fosse d'aération



niveau comparable à celui des concentrations à proximité de la fosse. Les concentrations de méthane y ont certes augmenté de 46 %, mais sont restées nettement inférieures à celles mesurées à proximité de la fosse d'aération.

À proximité de la fosse, l'effet de l'apport d'air passif par la surface ouverte de la fosse d'aération est apparent et se traduit par une oxydation partielle du méthane par des bactéries méthanotrophes ainsi que, principalement, par une dégradation microbiologique aérobie des matières organiques avec production respective de CO₂. On suppose également que l'effet de l'aération passive (oxydation de la matière organique en CO₂) est également stimulé à une plus grande distance de la fosse mais qu'en raison des quantités plus faibles d'ordures ménagères, il y a là moins de matière organique dégradable et donc un potentiel de formation de gaz de décharge moindre.

En plus de l'essai pilote, des mesures d'étanchéification ont été mises en œuvre au niveau des sous-sols des bâtiments situés à l'est. Les mesures d'étanchéification n'ont toutefois pas permis d'améliorer clairement la situation (migration des gaz dans les sous-sols des immeubles résidentiels).

Interprétation



Mesures d'étanchéification

5.3.

Propositions d'optimisation de la part de consultants externes

Les résultats disponibles concernant l'efficacité de l'essai pilote montrent que l'installation de fosses d'aération à l'ouest des habitations ne peut pas garantir une protection suffisante des immeubles situés à l'est de la décharge compte tenu de l'approche actuelle ainsi que des distances. L'effet de tirage naturel sera plutôt insignifiant en raison de la faible activité biologique des déchets (dégagement de chaleur minime lors de la biodégradation de la matière organique résiduelle), et se produira le cas échéant dans les parties supérieures de la fosse. Selon les experts d'IFAS, HiiCCE et SC+P, il faudrait par contre examiner, dans le cadre d'une procédure échelonnée, si l'aération passive de la décharge via les fosses d'aération modifiées (effet de tirage ou aspiration) peut contribuer à la fois à réduire les concentrations de gaz de décharge et à une diminution durable du potentiel de formation de gaz de décharge.

Optimisations au niveau de la fosse d'aération et recommandation

L'aération pourrait être améliorée en installant des tuyaux perforés adaptés à la base de la fosse, avec un raccordement vertical et une ouverture au niveau des bords de la fosse, dans la mesure où les deux puits existants ne peuvent pas remplir cette fonction.

Tuyaux d'aération à la base de la fosse

Une aspiration active des zones inférieures de la fosse pourrait en revanche élargir considérablement le rayon d'action de l'aération indirecte (apport d'air via la surface de la décharge) et entraîner ainsi une baisse des concentrations résiduelles de méthane ainsi qu'une accélération de la transformation de la matière organique encore biodégradable.

Aspiration active

Il est recommandé d'examiner de plus près les variantes d'assainissement d'un captage actif des gaz afin de prévenir les risques et de les réévaluer par rapport aux autres variantes d'assainissement :

Captage actif des gaz

- Selon les consultants externes d'IFAS, HiiCCE et SC+P, le risque résiduel de mise en danger est plus élevé à l'extérieur des terrains concernés qu'à l'intérieur des habitations qui s'y trouvent.
- Ainsi, les points bas, puits, fosses, etc. peuvent présenter un manque d'oxygène ou une accumulation de dioxyde de carbone (risque d'asphyxie).
- Par ailleurs, une concentration ou une migration de méthane dans des cavités, sous les recouvrements et les imperméabilisations peut engendrer une atmosphère explosive (risque d'explosion/de déflagration).

Le risque potentiel de dommages dus à des tassements au niveau des bâtiments existants peut être considéré comme relativement faible si ces mesures d'aération passives sont mises en œuvre. Il est important de noter que les tassements dus à l'aérobisation sont certes plus courts et plus précoces, mais qu'ils se produiraient également sur une période nettement plus longue dans des conditions de décharge anaérobies « classiques ».

Risque de tassements dans le cadre des mesures d'aérobisation



5.4.

Conclusion et recommandation

Un captage actif des gaz, p. ex. via des puits de captage en périphérie des terrains concernés, réduirait considérablement ces risques résiduels ou les risques potentiels de mise en danger en diminuant de manière significative (et rapide) la teneur en méthane dans l'air interstitiel et en réduisant durablement la formation de méthane ou de gaz de décharge par une sur-aspiration modérée. Par ailleurs, un sens de déplacement des gaz est établi à l'écart des bâtiments et de la surface des jardins/terrains, qui pourrait être en grande partie régulé par le processus d'aspiration. Comme expliqué précédemment, les tassements qui en résulteraient seraient probablement faibles et leur évolution pourrait également être influencée par une gestion adaptée de l'aspiration ou de l'aération. Les tassements ne seraient guère différents dans l'ensemble, que ce soit en milieu anaérobie ou aérobie, mais plutôt le moment où ils se sont en grande partie formés.

Puits de captage de gaz en périphérie des terrains concernés



6. Enseignements tirés des consultations

Les conseils externes fournis pour les quatre anciennes décharges nécessitant un assainissement permettent de tirer les enseignements suivants, qui peuvent s'appliquer dans plusieurs cas à la fois :

- L'objectif d'assainissement définit le cadre de l'assainissement et aussi, par conséquent, si des mesures d'aérobisation permettent de procéder à un assainissement. L'objectif d'assainissement devrait déjà être clairement défini avant l'examen des mesures d'aérobisation – un échange préalable entre les planificateurs et les autorités chargées de délivrer les autorisations est nécessaire à cet effet.
- La part de carbone biodégradable (également appelée C_{bio}) est le paramètre déterminant pour calculer le potentiel total de carbone pouvant encore être émis par le corps de la décharge, principalement sous forme gazeuse. Cette valeur permet de déterminer de manière préventive le potentiel des mesures d'aérobisation. Elle peut être déterminée à l'aide d'analyses de déchets solides.
- Un essai pilote apporte des connaissances utiles sur la faisabilité générale d'un projet d'aérobisation ainsi que sur sa mise en œuvre, son optimisation et son exploitation économique. L'essai pilote doit être élaboré et surveillé de manière à ce que des optimisations puissent être apportées au système. De même, un essai pilote permet d'évaluer de manière fiable les coûts et la durée de l'assainissement.
- Des mesures d'aspiration pures (concept d'aérobisation, sur-aspiration ou fosse d'aération) peuvent certes être mises en place à moindre coût, mais elles n'atteignent souvent pas l'ensemble des zones à assainir de la décharge, et l'expérience montre que la mesure dure plus longtemps que dans le cas d'une aération active. Dans le cadre d'une étanchéification de surface, en particulier, une sur-aspiration ne semble pas efficace.
- Un autre facteur d'influence concerne le temps de séjour plus long des lixiviats dans les zones inférieures de la décharge (en raison de la perméabilité hydraulique plus faible) ainsi que la saturation complète (= accumulation d'eau) de l'espace interstitiel qui s'y produit (souvent). Cela peut limiter considérablement le fonctionnement de l'aération et une solution avec des puits combinés (des puits de captage de gaz pouvant être utilisés pour le drainage du corps de la décharge à l'aide d'une pompe submersible supplémentaire) doit être examinée.
- L'aérobisation n'est pas jugée appropriée au regard d'une dégradation significative des PFAS.
- L'aérobisation peut souvent être mise en œuvre en combinaison avec d'autres mesures d'assainissement.

Optimisations

Objectif d'assainissement

Part de carbone biodégradable

Essai pilote

Vérifier l'aération active

Accumulation au niveau du fond de la décharge

Ne convient pas PFAS

Combinaison avec d'autres mesures



Bern, 27.01.2025

SC+P SIEBER CASSINA + PARTNER AG

Chargé-e de dossier : Rafael Schuler


Rafael Schuler

Dipl. Bauingenieur ETH / SIA

Bases

(en partie anonymisées)

- [1] SCP, IFAS, HiiCCE, Carbotech (2022) : Aérobisation des décharges de déchets urbains. Expertise pour le compte de l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Berne, 2022
- [2] Questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas de l'ancienne décharge de déchets urbains «1» dans le canton «A», Sieber Cassina + Partner AG, IFAS, HiiCCE, Berne et Hambourg 30.01.2023
- [3] Questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas de la décharge «2» dans le canton «B» – évaluation de variantes d'assainissement concernant les PFAS, Sieber Cassina + Partner AG, IFAS, HiiCCE, Berne et Hambourg 06.03.2023
- [4] Questions concernant la faisabilité et la mise en œuvre de la méthode d'assainissement par « aérobisation » dans le cas de la décharge «3» dans le canton «C», Sieber Cassina + Partner AG, IFAS, HiiCCE, Berne et Hambourg 13.06.2023
- [5] Deuxième avis sur la situation ainsi que sur l'assainissement de la décharge de déchets urbains «4» dans le canton «D», Sieber Cassina + Partner AG, IFAS, HiiCCE, Berne et Hambourg 31.07.2024

Lois et ordonnances

Version en vigueur au moment de l'élaboration du présent rapport :

- [6] Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED) RS 814.600

