

Exploitation d'une ozonation dans une STEP: reconnaître des développements critiques dans le bassin versant

RECOMMANDATION



Dans les STEP suisses, une étape de traitement à l'ozone n'est mise en place que si la composition des eaux usées est adéquate. Cependant, des changements dans le bassin versant (p. ex. une nouvelle industrie ou le changement d'un procédé industriel) peuvent entraîner une modification significative de la composition des eaux usées. Pour cette raison, le VSA recommande de surveiller la composition des eaux usées et leur adéquation au processus d'ozonation après la mise en service, d'une part par une communication proactive entre les acteurs concernés et d'autre part par une surveillance de paramètres appropriés.

Mentions légales

Rédaction	J. Grelot, P. Wunderlin (VSA)
Suivi technique	C. Abegglen (ERZ/VSA), A. Benacloche (Ville de Neuchâtel), H. Bleny (OFEV), D. Dominguez (OFEV), E. Durisch-Kaiser (AWEL), C. Jaquerod (Kanton VD), N. Kheyar (Canton GE), H. Lecoultre (Canton NE), P. Locher (Kanton BE), V. Lanz (Kanton AR), R. Manser (Kanton BE), J. Margot (RWB), P. Perdaems (SIG), A. Piazzoli (Envilab), P. Ramaciotti (SIG), M. Schachtler (STEP de Neugut), D. Thonney (SIGE), U. von Gunten (Eawag)

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin et en toute bonne foi. Cependant, nous ne pouvons offrir aucune garantie concernant l'intégralité, l'exactitude et l'actualité du contenu. Toute prétention en responsabilité envers le VSA pour dommages matériels ou immatériels consécutifs à l'utilisation de la présente publication est exclue.

Photo de couverture: STEP de Werdhölzli, ERZ

Sommaire

Résumé.....	4
1. Introduction.....	6
2. Bases légales.....	7
3. Approche préventive.....	8
3.1. Acteurs pertinents : Qui fait quoi et est responsable de quoi ?.....	8
3.2. Développements dans le bassin versant.....	9
3.3. Concept de communication et instruments importants pour l'approche proactive.....	9
3.4. Exemple illustré des procédures.....	11
3.5 Évaluation des industries et des substances concernées.....	12
4. Surveillance de paramètres.....	14
4.1. Surveillance des paramètres existants d'exploitation de la STEP et de l'ozonation.....	14
4.2. Surveillance de paramètres supplémentaires.....	17
4.3. Fréquence et représentativité des mesures.....	19
4.4 Evaluation globale et mesures possibles.....	20
5. Mesures possibles.....	21
6. Conclusion.....	22
7. Bibliographie.....	23

Résumé

L'ozonation a fait ses preuves en tant que procédé d'élimination des micropolluants dans les stations d'épuration (STEP) des eaux usées. Lors de l'ozonation d'eaux usées, outre l'élimination souhaitée des micropolluants, des sous-produits d'oxydation problématiques peuvent se former en fonction de la composition des eaux usées. Dans les stations d'épuration suisses, une étape de traitement à l'ozone n'est réalisée que si la composition des eaux usées est adéquate selon la recommandation du VSA « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (VSA, 2017). Ces analyses présentent une situation spécifique à un moment précis. Des changements dans le bassin versant (p. ex. une nouvelle industrie ou le changement d'un procédé industriel) peuvent entraîner une modification significative de la composition des eaux usées. Pour cette raison, une surveillance de la composition des eaux usées et une vérification régulière de leur adéquation au processus d'ozonation sont importantes après la mise en service.

Cette surveillance est assurée d'une part par le maintien d'une communication proactive entre les différents acteurs du bassin versant concerné (approche préventive). Les flux d'informations importants dans ce contexte sont :

- un échange direct entre l'exploitant de la STEP et les industries pertinentes,
- un échange régulier entre le canton et la commune,
- un échange constant entre les services cantonaux et
- un échange régulier entre les autorités cantonales et les industries concernées.

La démarche préventive peut être soutenue par les instruments suivants:

- le cadastre industriel établi par le canton/la STEP, avec des informations sur la taille, l'activité, les processus, substances et charges des entreprises présentes dans le bassin versant,
- une liste¹ des secteurs et procédés industriels connus et pertinents pour l'ozonation mise à jour régulièrement par la plateforme « Techniques de traitement des micropolluants » et
- les exigences en termes de surveillance, pouvant être ordonnées dans l'autorisation de déversement de la STEP, respectivement dans l'autorisation d'exploitation des industries.

D'autre part, le fonctionnement de l'ozonation doit être surveillé à l'aide de paramètres appropriés afin de détecter à temps toute divergence par rapport au fonctionnement normal. A l'aide des paramètres existants (paramètres d'exploitation de la STEP et de l'ozonation, cf. tab. 1), des éventuelles modifications de la composition des eaux usées peuvent être identifiées. Un suivi de paramètres de surveillance supplémentaires (p.ex. bromates, cf. tab. 2) donne des indications si un changement de la composition des eaux usées est problématique pour l'ozonation.

Si une modification de la composition des eaux usées peut être imputée à une nouvelle industrie ou un changement de processus dans une industrie existante, les autorités compétentes peuvent imposer les mesures à prendre. Dans ce document, des mesures immédiates, à moyen ou long terme à la source ou au niveau de la STEP sont proposées.

Ce document s'adresse aux exploitants d'ozonations dans des stations d'épuration, aux autorités chargées de la surveillance (autorités cantonales), aux décideurs au niveau communal et aux autres acteurs concernés.

¹ Disponible sur www.micropoll.ch

Tableau 1. Résumé des différents paramètres d'exploitation à surveiller et de la fréquence d'analyse.

Paramètres d'exploitation STEP	Fréquence d'analyse
N-Nitrite	selon l'OEaux Annexe 3.1 ch. 41
DCO/BOD ₅	
COD	
Phosphore	
pH	selon les exigences cantonales
Métaux lourds dans les boues	
Paramètres d'exploitation ozonation	Fréquence d'analyse
Production d'ozone	mesures online si possible (sinon relevé ponctuel hebdomadaire)
Dosage d'ozone	
ΔUV	

Tableau 2. Résumé des différents paramètres de surveillance et de la fréquence d'analyse.
BV = bassin versant

Paramètres de surveillance ozonation	Fréquence d'analyse	
Après mise en service de l'ozonation	1 ^{ère} année (évaluation du « fonctionnement normal »)	dès 2 ^e année
Lors de changements critiques dans le BV	1 ^{ère} année	dès 2 ^e année si changement non-problématique
<i>En entrée d'ozonation²</i>		
Bromures	similaire aux composés traces organiques selon l'OEaux Annexe 3.1 ch. 41	similaire aux composés traces organiques: diminuer fréquence selon l'OEaux Annexe 3.1 ch. 41
Bromates	8 à 12 fois par an	si bromures ≥ 100 µg/l, fréquence identique à 1 ^{ère} année
Nitrosamines		minimum 2 fois par an/mesures supplémentaires en cas de suspicion
<i>En sortie du traitement complémentaire</i>		
Bromates	8 à 12 fois par an	si bromures ≥ 100 µg/l, fréquence identique à 1 ^{ère} année
Nitrosamines		minimum 2 fois par an/mesures supplémentaires en cas de suspicion
<i>En entrée et sortie d'ozonation et en sortie de traitement complémentaire</i>		
Biotests	à définir au cas par cas, recommandé en cas de soupçon concret	

² Un échantillonnage en entrée d'ozonation est préférable. Si celui-ci n'est pas disponible, il est possible d'utiliser l'échantillonneur existant en entrée de STEP.

1. Introduction

Dans une station d'épuration, une étape supplémentaire pour le traitement des micropolluants (MP) permet d'éliminer un large éventail de substances et d'améliorer sensiblement la qualité de l'eau. Les procédés de traitement possibles sont l'adsorption sur charbon actif et/ou l'ozonation.

L'ozonation élimine un large éventail de micropolluants et améliore ainsi la qualité des eaux usées. De plus, les concentrations en carbone organique dissous (COD) et en nitrite sont réduites par le traitement à l'ozone. L'élimination des odeurs, la désinfection et la décoloration des eaux usées sont également des effets positifs de l'ozonation. Les produits de réaction toxiques et instables sont éliminés par le traitement complémentaire (p. ex. filtre à sable). L'ozonation est une solution économique pour éliminer les micropolluants. Elle a été réalisée à l'échelle industrielle dans plusieurs stations d'épuration des eaux usées et, depuis, fonctionne bien et de façon stable.

On sait cependant que certaines matrices d'eaux usées, en particulier en présence de certains rejets d'eaux usées industrielles ou artisanales, ne permettent pas une ozonation. Dans un tel cas, des sous-produits d'oxydation³ stables et toxiques (p. ex. bromates) peuvent être formés en quantités significatives, ce qui doit être évité. Par conséquent, des vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation devraient être effectuées au plus tard dans le cadre de l'avant-projet (cf. VSA, 2017). Par ailleurs, il est difficile d'estimer les développements et les changements futurs dans le bassin versant (p.ex. l'évolution des activités industrielles) au moment de ces vérifications. Pour cette raison, il est important d'établir une communication proactive entre tous les acteurs concernés lors du choix du procédé et de la maintenir après la mise en service de l'installation. Ainsi, des changements dans le bassin versant avec des effets potentiels sur l'exploitation de l'ozonation peuvent être évalués à un stade précoce (p.ex. lors d'une demande de permis de construire) grâce à une approche préventive et des mesures adaptées peuvent être prises (cf. fig. 1, à gauche). Il est également important de surveiller le fonctionnement de celle-ci à l'aide de paramètres appropriés, afin de maintenir à long terme une bonne qualité des eaux rejetées (respectivement, de pouvoir détecter à temps une « divergence durable par rapport au fonctionnement normal »⁴; cf. fig. 1, à droite). Si la composition des eaux usées venait à changer au « détriment » de l'ozonation, des mesures appropriées pour garantir une protection efficace des eaux devraient être prises.

Certains cantons se sont déjà penchés sur la question. Ainsi p.ex., le service des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zürich a édité une directive concernant la surveillance de l'exploitation des étapes de traitement des micropolluants dans les STEP zurichoises (AWEL, 2018). Entre autres, des mesures de bromures, bromates et évent. de nitrosamines sont exigées.

³ **Sous-produits d'oxydation**: formés par des réactions avec la matrice des eaux usées (p. ex. bromates, nitrosamines); **produits de transformation**: formés par l'oxydation des composés traces organiques; **produits de réaction**: produits d'oxydation et de transformation - pour les eaux usées communales, il est supposé que les sous-produits d'oxydation sont plus pertinents que les produits de transformation du point de vue (éco)-toxicologique (Lee et von Gunten, 2016)

⁴ Une divergence par rapport au fonctionnement normal est définie ici comme une modification à long terme de la composition des eaux usées, qui n'a pas nécessairement de conséquences visibles sur les étapes de traitement des eaux usées de la STEP. Les événements ponctuels tels que les incidents ou les accidents ne sont pas pris en compte ici et doivent être évalués au cas par cas.

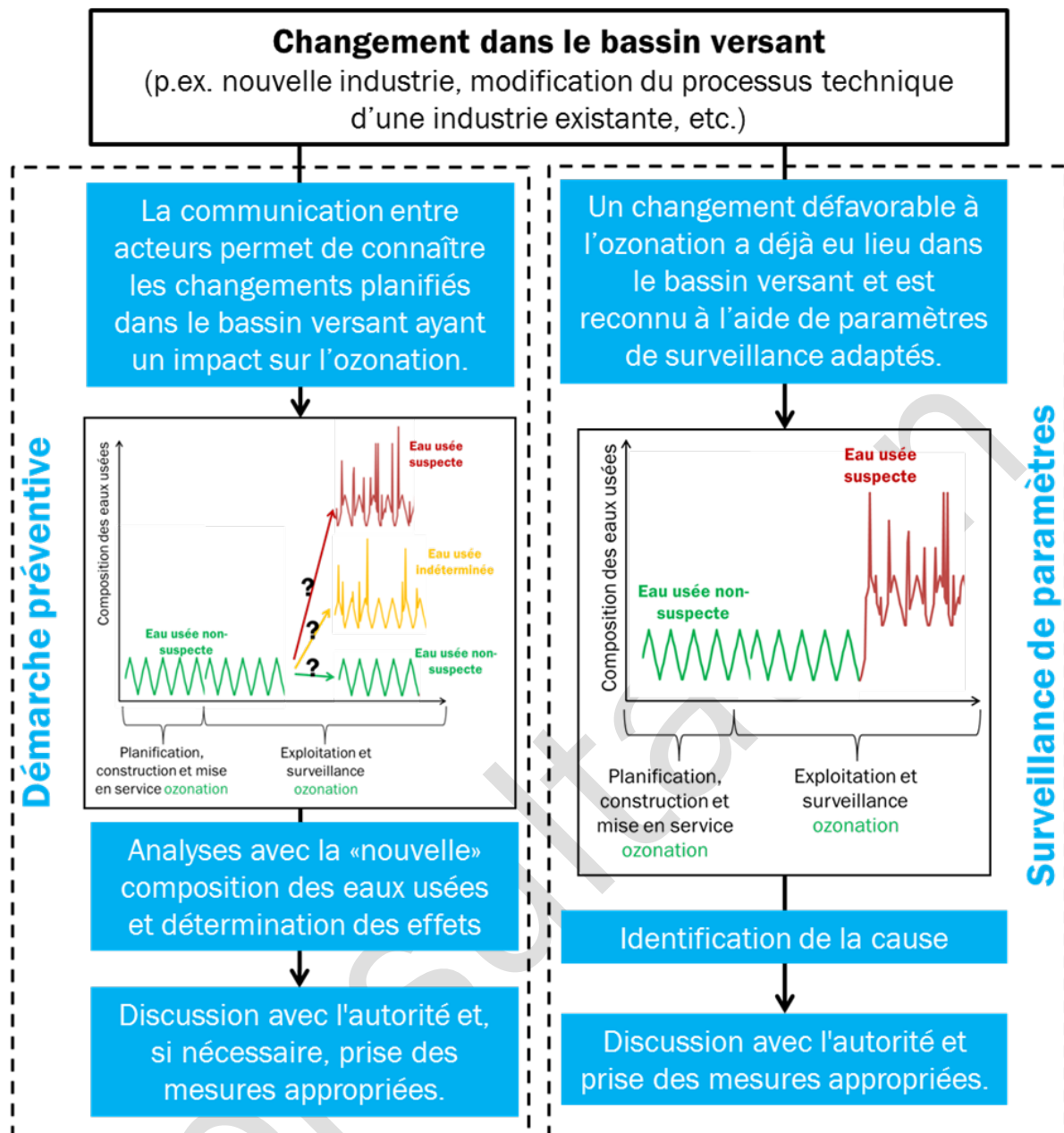


Figure 1. Les changements dans le bassin versant ayant des effets (potentiels) sur l'exploitation de l'ozonation peuvent être évalués à un stade précoce (p.ex. lors d'une demande de permis de construire) grâce à une approche préventive et des mesures adaptées peuvent être prises (situation à gauche). Les changements qui ont déjà eu lieu et qui ont des effets sur l'exploitation de l'ozonation peuvent être détectés par la suite au niveau de la STEP au moyen de paramètres de surveillance appropriés (situation à droite).

2. Bases légales

Lors de la mise en place d'un traitement des micropolluants, les bases légales suivantes s'appliquent (entre autres) : art. 3 de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux ; devoir de diligence) et art. 6 LEaux (interdiction de polluer). Elles stipulent qu'il est interdit d'introduire dans une eau des substances ayant des effets nuisibles ou de nature à polluer. Par conséquent, la formation de substances problématiques ou indésirables (sous-produits d'oxydation) lors du traitement des eaux usées à l'ozone doit être minimisée.

L'art. 15 OEaux (contrôle par l'autorité) s'applique dans le cas de l'exploitation d'une ozonation. Selon cet article, l'autorité compétente vérifie périodiquement si les exigences relatives aux eaux usées rejetées par les industries ou par la STEP assurent une protection efficace des eaux. Au besoin, elle fixe les mesures à prendre et adapte si nécessaire les autorisations de rejet. Les autorisations de déversement des eaux industrielles sont délivrées par les autorités conformément à l'annexe 3.2 OEaux. Si, du fait du rejet de ces eaux polluées, les exigences relatives au déversement des eaux de la STEP ne peuvent pas être respectées ou si le fonctionnement de la STEP est perturbé, les exigences relatives au déversement des eaux industrielles peuvent être renforcées (art. 7 al. 2 OEaux).

3. Approche préventive

Il est difficile de prévoir le développement et les changements futurs dans le bassin versant d'une STEP. Pour cette raison, il est important d'aborder les changements de manière proactive et de maintenir la communication entre tous les acteurs concernés.

3.1. Acteurs pertinents : Qui fait quoi et est responsable de quoi ?

Il est important que tous les acteurs concernés dans le bassin versant soient informés qu'une ozonation est en service à la STEP communale. Cela suppose une communication proactive entre les différentes autorités communales et cantonales compétentes, pour détecter à temps des changements dans le bassin versant qui affecteraient l'ozonation et définir ensemble des solutions appropriées. Le tableau 3 identifie les acteurs clés et leurs responsabilités dans ce contexte. Les processus et les autorités compétentes peuvent différer d'un canton à l'autre.

Tableau 3. Aperçu des acteurs et de leurs responsabilités respectives (cas normal suisse ; des exceptions sont possibles, p.ex. définition des autorisations de rejet par la commune)

Acteurs	Responsabilités relatives à l'ozonation
Autorité(s) communale(s)	Décisions concernant le développement futur du bassin versant Transmission des demandes de permis de construire relatives à la protection des eaux à l'office cantonal compétent Responsabilité pour promouvoir et maintenir la communication entre la STEP et les industries
Autorités cantonales (responsables de l'épuration des eaux usées et du domaine industrie et artisanat)	Etablissement des autorisations de rejet Vérification de l'impact potentiel d'une nouvelle industrie ou de la modification d'un procédé industriel (soumis à autorisation ⁵) sur l'ozonation Si nécessaire, prescription de mesures
Industries et artisanats	Respect des conditions de rejet Ne causer aucune perturbation ou altération du fonctionnement du réseau d'égouts public et de la STEP Obligation de notifier la modification d'un procédé industriel qui requiert une adaptation des autorisations de rejet

⁵ En théorie, toute modification de procédés ou de machines est soumise à autorisation au sens de la LEaux si elle entraîne une modification de la quantité ou de la composition des eaux usées. Dans la pratique, ces modifications ne sont généralement signalées que dans le contexte de demande de permis de construire.

Exploitants de STEP	Respect des conditions de rejet Communication proactive avec les industries pertinentes Annonce d'incidents/dysfonctionnements auprès des autorités cantonales
---------------------	--

Autres acteurs possibles :

Responsables des services de protection des eaux, etc. Dans le cas de captages et installations de traitement d'eau potable en aval pouvant être affectés par les substances formées lors de l'ozonation, il est recommandé d'établir préventivement un contact avec le distributeur d'eau et d'assurer un échange d'informations.

3.2. Développements critiques dans le bassin versant

L'accent est mis sur les nouvelles entreprises présentant des déversements chargés en bromures. Les secteurs suivants sont des sources potentielles de bromures (voir aussi VSA, 2017; Soltermann et al. 2016) :

- Industrie chimique
- Usines d'incinération des ordures ménagères avec lavage des fumées par voie humide (les bromures proviennent ici principalement des retardateurs de flamme)
- Décharges (types C, D et E)
- Industrie de traitement des déchets spéciaux
- D'autres sources moins importantes comme p.ex. les toilettes chimiques.

L'accent est également mis sur les nouvelles entreprises présentant des déversements chargés en nitrosamines et précurseurs de nitrosamines, car les nitrosamines elles-mêmes pourraient indiquer la présence de précurseurs de nitrosamines problématiques.

Les nitrosamines peuvent se former dans diverses conditions. Les exemples sont (1) la présence d'amines ou de nitrites dans un effluent à faible pH (effluent d'une seule industrie ou mélange d'effluents dans la canalisation) ou (2) la présence d'aldéhydes à pH élevé. D'autres recherches sont prévues pour approfondir les connaissances dans ce domaine.

La plateforme du VSA "Techniques de traitement des micropolluants" tient à jour une liste des sources (secteurs industriels et procédés) de substances problématiques pour l'ozonation (bromures, précurseurs de nitrosamines et éventuellement d'autres). Cette liste est mise à jour régulièrement et est disponible sur www.micropoll.ch.

3.3. Concept de communication et instruments importants pour l'approche proactive

Il est recommandé que la commune et la STEP prennent contact avec les autres acteurs concernés dès la phase de choix du procédé de traitement des micropolluants. Durant la construction et après la mise en service, les flux d'informations et instruments suivants sont importants.

Flux général d'informations entre tous les acteurs

Idéalement, tous les acteurs concernés (services cantonaux, industries, communes et exploitant de STEP) se réunissent une fois par an pour un échange. L'objectif est de clarifier les effets du rejet de substances issues de différentes industries ainsi que des modifications de procédés ou de recettes industriels en cours d'exploitation pouvant influencer la composition des eaux usées et plus particulièrement sur l'ozonation. Si une telle rencontre n'est pas possible, un contact direct entre l'exploitant de la STEP et les différentes industries pertinentes devrait avoir lieu. La responsabilité pour

la mise en place et le maintien de ces échanges incombe à la commune, respectivement au canton. Les flux de communication suivants sont particulièrement importants (ceux-ci sont illustrés dans le chap. 3.4) :

- Echange entre STEP et industries (A1 dans la fig. 2)
Un flux direct d'informations entre la STEP et les industries présentes dans le bassin versant doit, si possible, être établi (voir aussi l'exemple des "bonnes pratiques"⁶). Il est aussi envisageable que les industries pertinentes transmettent par l'intermédiaire de leurs rapports annuels des informations pertinentes (p.ex. débit, substances, concentrations, nombre de dépassements, etc.) au canton qui pourrait les transmettre à la commune et, le cas échéant, à la STEP. La STEP et plus particulièrement la commune jouent ici un rôle central. Dans les petites communes manquant d'expertise ou lorsqu'une STEP traite les eaux usées de plusieurs communes, ce rôle peut être assumé par le canton.
- Echange entre canton et commune (A2 dans la fig. 2)
La commune informe en permanence le canton des changements opérationnels et des développements dans l'industrie et l'artisanat. Cela se fait déjà partiellement par l'intermédiaire des demandes de permis de construire. Le service cantonal responsable de l'épuration des eaux usées informe la commune sur les industries pertinentes et la sensibilise quant à l'importance de la surveillance de l'ozonation.
- Échange entre services cantonaux (A3 dans la fig. 2)
Un échange constant entre les autorités cantonales responsables du traitement des eaux usées, de l'industrie et artisanat, du développement économique, de l'aménagement territorial, de la qualité de l'eau et de l'eau potable est recommandé.
- Echange services cantonaux avec industries pertinentes (A4 dans la fig. 2)
Il est recommandé de mettre en place un échange constant entre les services cantonaux et les industries pertinentes et potentiellement problématiques et de procéder à un contrôle régulier des eaux usées rejetées par ces industries.

Instruments pour soutenir la démarche proactive

- Cadastre industriel (B1 dans fig. 2)
Un cadastre industriel avec des informations sur la taille, l'activité, les procédés, substances et charges des industries situées dans le bassin versant de la STEP permet de garder un œil sur le développement dans le bassin versant. Ce cadastre est généralement établi par le canton, mais dans certains cas, il est possible que la STEP doive établir elle-même un cadastre du bassin versant.
- Liste des secteurs et procédés industriels connus et pertinents (B2 dans fig. 2)
La plateforme met à disposition une liste⁷ des industries, procédés et substances pertinents pour l'ozonation en fonction de l'état actuel des connaissances. Cette liste peut être utilisée lors de l'octroi d'autorisations de déversement pouvant influencer la composition des eaux usées. Les effets sur la STEP/l'ozonation et surtout les charges représentées par ces déversements doivent être pris en compte.

⁶ Disponible sur www.micropoll.ch

⁷ Disponible sur www.micropoll.ch

- Exigences en matière de surveillance (B3 dans fig. 2)
 - À la STEP : Les exigences en matière de surveillance peuvent être spécifiées comme condition dans l'autorisation de déversement de la STEP. Les autorités cantonales sont libres de définir les paramètres à surveiller et les fréquences d'analyses (proposition cf. chap. 4.2).
 - Pour les industries : L'autorité cantonale compétente peut ordonner un autocontrôle de certains paramètres (p.ex. paramètres du tab. 6) dans l'autorisation d'exploitation de l'industrie. L'industrie analyse ses propres eaux usées avant de les rejeter dans le réseau d'eaux usées. Les paramètres pertinents sont à sélectionner individuellement pour chaque industrie.

En cas d'incertitudes ou de questions concernant les industries, procédés et substances concernés il est possible de consulter des experts (p. ex. la plateforme "Techniques de traitement des micropolluants" – www.micropoll.ch) à tout moment.

3.4. Exemple illustré des procédures

Ci-dessous, deux exemples permettent de mieux comprendre les processus de communication décrits dans le chapitre 3.3 et comment les instruments disponibles peuvent être intégrés dans le processus décisionnel. Une distinction est faite entre les deux scénarios suivants :

- 1) **Exploitation normale** - l'ozonation est en construction ou en cours de mise en service à la STEP (cf. fig. 2 à gauche).
- 2) **Changement dans le bassin versant** - l'ozonation est en service à la STEP et un changement au niveau industriel se produit dans le bassin versant (cf. fig. 2 à droite). Dans ce cas, on peut distinguer les deux situations suivantes.

Situation 2.1 - Modification des procédés (techniques) industriels affectant la composition des eaux usées :

Lors de la modification de procédés de production ou de traitement des eaux usées d'une industrie existante et connue possédant une autorisation de déversement valide, une condition préalable importante est une détection précoce d'une modification de la composition des eaux usées (qui peut être pertinente pour l'ozonation). Idéalement, l'entreprise responsable du déversement communique un changement de manière proactive aux autorités compétentes et à la STEP concernée. De cette façon, l'influence sur l'ozonation peut être déterminée préalablement (p. ex. à l'aide de tests pour évaluer l'adéquation de l'ozonation). Si nécessaire, des mesures appropriées peuvent être prises (p.ex. adaptation de l'autorisation de rejet existante de l'industrie/artisanat concerné).

Situation 2.2 - Nouvelle entreprise industrielle ou artisanale (ou autres nouveaux déversements potentiellement problématiques pour la STEP/l'ozonation) dans le bassin versant :

Les nouvelles entreprises n'ont pas encore d'autorisation de déversement. Par conséquent, il convient d'évaluer avant leur implantation dans le bassin versant si leurs eaux usées ont un impact négatif sur le traitement des eaux usées (en particulier sur l'ozonation). Ceci est relativement difficile car le rejet industriel n'existe pas encore et la modification de la composition des eaux usées est difficile à évaluer. Les clarifications et évaluations nécessaires doivent être discutées avec les services compétents à un stade précoce (dans ce cas, il est

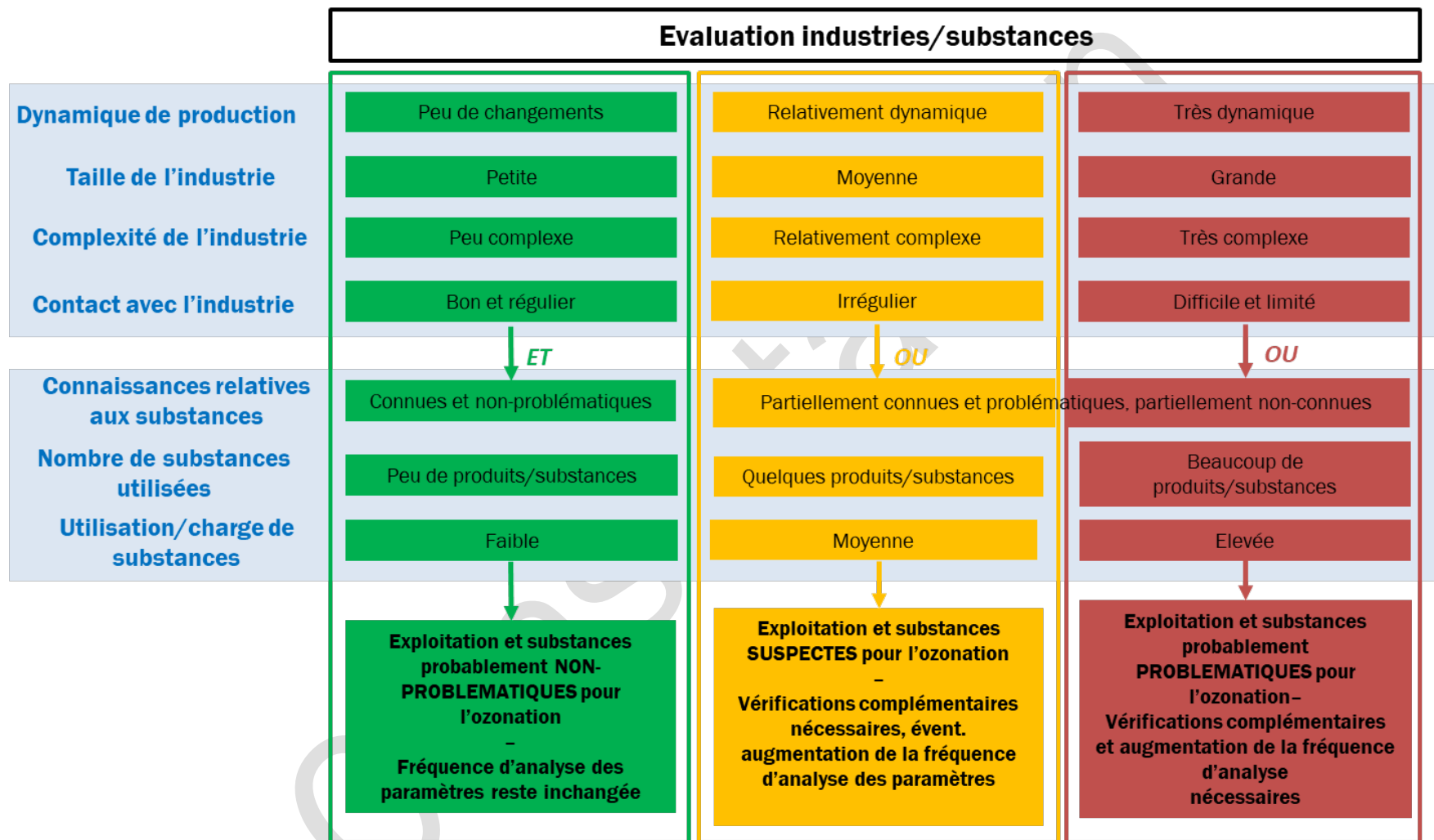


Figure 3. Matrice d'évaluation de la pertinence des industries et des substances utilisées, ainsi que de l'influence sur les vérifications complémentaires et la fréquence d'analyse des paramètres de surveillance

4. Surveillance de paramètres

Dans les chapitres suivants, la surveillance de paramètres de la STEP est présentée. A l'aide de paramètres d'exploitation appropriés, il est généralement possible de détecter si, à cause d'une modification de la composition des eaux usées, l'ozonation diverge par rapport à l'exploitation habituelle (« divergence par rapport au fonctionnement normal » - voir définition p. 7). Les différents paramètres pertinents pour la surveillance d'une ozonation sont discutés ci-dessous. L'approche à trois niveaux proposée (cf. fig. 4) est présentée dans les chapitres énumérés. L'objectif est de reconnaître à un stade précoce les changements critiques survenus dans la composition des eaux usées, d'identifier la cause et de mettre en place des mesures.

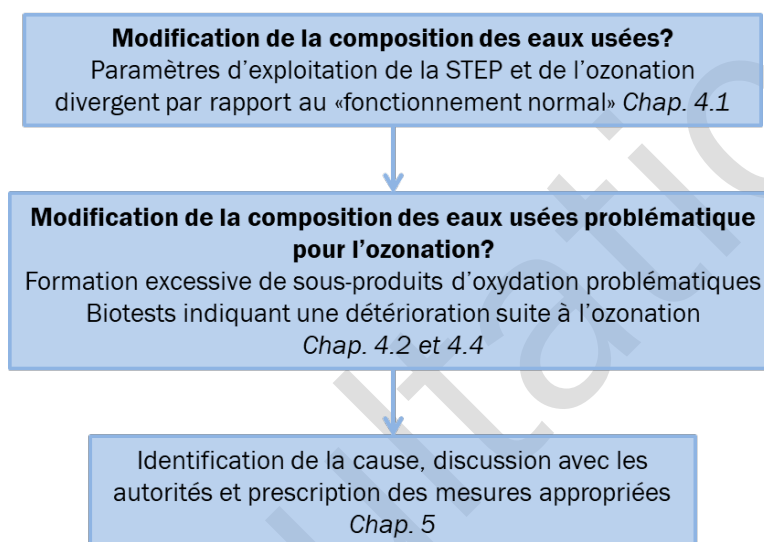


Figure 4. Approche à trois niveaux pour identifier une modification de la composition des eaux usées, si cette modification est problématique pour l'ozonation, quelle en est la cause et quelles sont les mesures appropriées.

4.1. Surveillance des paramètres existants d'exploitation de la STEP et de l'ozonation

Les paramètres d'exploitation de la STEP sont régulièrement mesurés pour l'exploitation quotidienne ou pour la surveillance par l'autorité cantonale (respect des exigences de rejet). Une base de données solide est donc disponible. Des divergences par rapport à l'exploitation « normale » peuvent indiquer un changement dans la composition des eaux usées qui serait problématique pour l'ozonation. Pour cette raison, ces paramètres peuvent compléter le système de surveillance, en particulier si des causes opérationnelles au niveau de la STEP peuvent être exclues et si l'exploitant connaît son bassin versant et donc les fluctuations normales dans la composition de ses eaux usées. La liste ci-dessous des paramètres d'exploitation de STEP et de l'ozonation est indicative : Si ces paramètres sont déjà mesurés avant l'installation d'une ozonation, ils peuvent, dans la mesure du possible, servir à surveiller la composition des eaux usées. Si ces mesures ne sont pas effectuées, il n'est pas nécessaire de les mettre en place.

Surveillance des paramètres d'exploitation de la STEP

Les paramètres d'exploitation sont surveillés à l'aide d'échantillons composites ou par des sondes en ligne et peuvent indiquer la présence de certains secteurs industriels (cf. tableau 4). Si ces paramètres changent au fil du temps sans que ces changements puissent être imputés à d'autres causes, la

fréquence d'analyse des paramètres de surveillance de l'ozonation (cf. chap. 4.2 ; tab. 6) doit être augmentée et si nécessaire des mesures doivent être prises.

Tableau 4. Paramètres d'exploitation qui sont mesurés régulièrement à la STEP et causes industrielles possibles

Paramètres d'exploitation STEP	Unité	Possibles causes industrielles
Nitrite-N	mgN/L	des valeurs plus élevées en sortie de STEP peuvent indiquer un traitement biologique perturbé par des eaux usées industrielles. Le nitrite peut aussi être rejeté directement avec les eaux industrielles
DCO/DBO ₅	mgO ₂ /L	des valeurs plus élevées en sortie de STEP être imputées à certaines industries (p.ex. alimentaires ou textiles) dominantes ou indiquer des nouvelles industries/processus industriels produisant une charge organique difficilement dégradable
COD	mgC/L	des valeurs plus élevées en sortie de STEP peuvent indiquer la présence de nouvelles industries ou de nouveaux procédés industriels produisant du COD difficilement dégradable
pH	-	des pics de pH sont liés à des procédés de nettoyage/désinfection, un dysfonctionnement d'une installation de neutralisation ou des eaux de chantiers
Phosphore	mgP/L	des concentrations de P non précipitable en sortie de STEP (pour des concentrations de MES normales) indiquent des phosphonates ou hypophosphites d'origine industrielle
Métaux lourds dans les boues d'épuration	mg/kgMS	des valeurs élevées sont typiques de rejets provenant d'une usine de traitement de surface des métaux (p.ex. galvanoplastie), ceci peut indiquer la présence de précurseurs de nitrosamines dans les eaux usées
Autres La mesure en ligne de différents paramètres (p. ex. UV, conductivité) mesurés en entrée de STEP ou en entrée de biologie peut être utile : de fortes fluctuations sur une courte période de temps sont dues aux rejets industriels.		

Le contrôle régulier de la teneur en métaux au moyen d'analyses de boues (p. ex. dans le réservoir de stockage des boues) est simple (concentrations élevées) et permet d'obtenir des résultats représentatifs. Comme référence pour les concentrations de métaux lourds mesurées dans les boues d'épuration, les valeurs de l'étude de 2016 portant sur 64 stations d'épuration suisses peuvent être utilisées (Vriens et al., 2018).

Pour la fréquence d'analyse, il est recommandé de se baser sur l'annexe 3.1 ch. 41 de l'OEaux ou les exigences cantonales. Lors de modifications dans le bassin versant, il peut être judicieux de mesurer plus fréquemment au début (durant les 1 à 2 premières années après les modifications) qu'après. S'il a été démontré que les changements ne sont pas problématiques, la fréquence d'analyse peut être réduite au nombre d'échantillons exigé par la loi.

Surveillance des paramètres d'exploitation de l'ozonation ("fonctionnement normal")

Après la mise en service⁸ de l'ozonation, il est recommandé d'évaluer son "fonctionnement normal" pendant minimum une année au moyen d'une surveillance de paramètres appropriés. Cette démarche permet de mieux évaluer l'ozonation par rapport à son fonctionnement habituel (entre autres, corrélation de la diminution de l'absorbance UV avec l'élimination des MP). Ainsi, à l'avenir, tout changement dans la composition des eaux usées pourra être mieux reconnu et compris. Une divergence par rapport au fonctionnement normal peut être causée par une modification de la composition des eaux usées si elle ne peut pas être expliquée par des causes opérationnelles au niveau de la STEP. Cependant, une divergence des paramètres d'exploitation n'indique pas nécessairement un changement dans la composition des eaux usées qui soit problématique pour l'ozonation. Ces paramètres sont donc à utiliser à titre indicatif uniquement. Le cas échéant, la fréquence d'analyse des paramètres de surveillance de l'ozonation (cf. chap. 4.2; tab. 6) doit être augmentée et si nécessaire des mesures doivent être prises.

Les paramètres d'exploitation à mesurer lors de l'évaluation du fonctionnement normal de l'ozonation et qui fournissent d'importantes informations relatives à l'exploitation sont énumérés dans le tableau 5. Si, par exemple, les consommations d'oxygène et d'ozone augmentent continuellement alors que le taux d'épuration des 12 substances à mesurer reste constant et si cela ne peut être expliqué autrement, cela indique une consommation accrue d'ozone et de radicaux OH par les eaux usées: si les composés présents dans les eaux usées (p.ex. COD, nitrite ou substances d'origine industrielle) consomment plus d'ozone et de radicaux OH, alors l'efficacité du traitement diminue et, par conséquent, la quantité d'ozone dosée augmente pour maintenir le taux d'épuration requis.

La diminution de l'absorbance UV (ΔUV) à 254 nm peut être calculée à partir de mesures en ligne à l'entrée et à la sortie de l'ozonation (voir aussi Plateforme VSA, 2016 ; Plateforme VSA, 2018). Une modification de la diminution de l'absorbance UV, sensiblement différente des fluctuations quotidiennes, hebdomadaires et saisonnières habituelles et qui ne peut être expliquée autrement, indique un changement dans la composition des eaux usées. La mesure en continu de l'absorbance UV peut être un complément précieux aux autres paramètres (d'exploitation). La mesure de l'absorbance UV à 254 nm à l'aide d'un photomètre et sur la base d'échantillons composites de 24 heures à l'entrée et à la sortie de l'ozonation peut également fournir des informations précieuses.

⁸ Dans ce document, la mise en service d'une ozonation représente le moment où l'ozonation fonctionne bien et de manière stable et où on peut s'attendre à ce que le taux d'épuration de 80% soit respecté.

Tableau 5. Paramètres qu'il est recommandé de mesurer régulièrement en tant que paramètres d'exploitation de l'ozonation et causes industrielles possibles

Paramètres d'exploitation ozonation	Unité	Possibles causes industrielles
Production d'ozone	kg/j	une production d'ozone plus élevée sans aucune autre cause apparente (p.ex. débit, concentrations plus élevées de COD ou de nitrite dans l'affluent) peut indiquer la présence de substances d'origine industrielle consommatrices d'ozone
Dosage d'ozone	mgO ₃ /mgCOD mgO ₃ /L	un dosage plus élevé peut indiquer la présence de nouvelles industries ou de nouveaux procédés industriels produisant du COD difficilement dégradable et réactif à l'ozone (si aucune autre cause ne peut être identifiée, p.ex. problème technique)
ΔUV	%	un ΔUV qui dévie de la corrélation avec l'élimination des MP peut indiquer un changement dans la composition des eaux usées (si aucune autre cause ne peut être identifiée, p.ex. problème technique)
Autres		
Des études en laboratoire telles que l'exposition à l'ozone ou la dégradation de composés traces résistants à l'ozone (p. ex. sucralose ou agents de contraste iodés pour rayons X) peuvent fournir des informations supplémentaires. Un écart de ces paramètres par rapport aux eaux usées de référence non-problématiques indique un changement dans la composition des eaux usées (voir VSA, 2017).		

Il est recommandé de mesurer ces paramètres en continu (online). Pour les petites STEP, une évaluation ponctuelle hebdomadaire est suffisante.

4.2. Surveillance de paramètres supplémentaires

Sous-produits d'oxydation et leurs précurseurs

Des analyses de précurseurs problématiques connus et quantifiables, tels que les bromures, devraient être effectuées régulièrement dans l'affluent de l'ozonation (cf. tab. 6). Les nitrosamines elles-mêmes peuvent indiquer la présence de précurseurs de nitrosamines. Les bromures et nitrosamines sont aussi des indicateurs pour la présence d'autres substances inconnues d'origine industrielle.

La simple présence de précurseurs de nitrosamines dans l'affluent ne signifie pas nécessairement une formation de nitrosamines pendant l'ozonation. Par conséquent, des analyses de sous-produits d'oxydation (bromates et nitrosamines) doivent également être effectuées en sortie du traitement complémentaire (p.ex. filtre à sable).

Pour évaluer le fonctionnement normal de l'ozonation (lors de la première année d'exploitation de l'ozonation), il est recommandé d'analyser les concentrations de bromures, bromates et nitrosamines en entrée, respectivement en sortie de l'ozonation et du traitement complémentaire en augmentant la fréquence d'analyse (cf. première colonne du tab. 6). Ainsi, la formation spécifique de bromates et de nitrosamines en fonctionnement normal de l'ozonation peut être évaluée et des valeurs de référence définies pour l'eau usée étudiée. Si une phase de test avec différentes doses d'ozone est prévue, elle doit faire l'objet d'un accord préalable avec l'autorité compétente.

Dès la 2^e année après la mise en service, la fréquence d'analyse des bromates peut être réduite : tant que les concentrations de bromures restent non-suspectes (< 100 µg/l), aucune mesure de bromates ne doit être effectuée. Toutefois, dans le cas d'eaux usées ayant un taux de formation de bromates élevé, des mesures régulières de bromates doivent être effectuées à l'entrée et à la sortie du traitement complémentaire, même à de faibles concentrations de bromures.

La formation de chromates ne pose généralement pas de problème, car la concentration de chrome(III) dissous dans les eaux usées est très faible dans la plupart des cas et la formation de chromates est très lente. Pour cette raison, il est suffisant de mesurer les concentrations de chrome dans l'affluent sur la base de soupçons concrets.

Une explication des fréquences d'analyse recommandées dans le tableau 6 est donnée dans le chapitre 4.3.

Tableau 6. Paramètres recommandés pouvant être mesurés à l'entrée et à la sortie de l'ozonation, et fréquence d'analyse (1) au cours de la première année suivant la mise en service de l'ozonation ou lors de changements critiques dans le bassin versant (BV) et (2) à partir de la 2^e année suivant la mise en service ou le dernier changement observé dans la composition des eaux usées si celui-ci s'est avéré non-problématique

Paramètres de surveillance ozonation	Fréquence d'analyse	
Après mise en service de l'ozonation	1 ^{ère} année (évaluation du « fonctionnement normal »)	dès 2 ^e année
Lors de changements critiques dans le BV	1 ^{ère} année	dès 2 ^e année si changement non-problématique
<i>En entrée d'ozonation⁹</i>		
Bromures	similaire aux composés traces organiques selon l'OEaux Annexe 3.1 ch. 41	similaire aux composés traces organiques: diminuer fréquence selon l'OEaux Annexe 3.1 ch. 41
Bromates	8 à 12 fois par an	si bromures ≥ 100 µg/l, fréquence identique à 1 ^{ère} année
Nitrosamines		minimum 2 fois par an/mesures supplémentaires en cas de suspicion
<i>En sortie du traitement complémentaire</i>		
Bromates	8 à 12 fois par an	si bromures ≥ 100 µg/l, fréquence identique à 1 ^{ère} année
Nitrosamines		minimum 2 fois par an/mesures supplémentaires en cas de suspicion
<i>En entrée et sortie d'ozonation et en sortie de traitement complémentaire</i>		
Biotests	à définir au cas par cas, recommandé en cas de soupçon concret	

Modification de la toxicité

Le set minimal de biotests recommandé est présenté dans le document « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (VSA, 2017 ; cf. tab. 6) : test d'Ames (TA98, TA100, avec et

⁹ Un échantillonnage en entrée d'ozonation est préférable. Si celui-ci n'est pas disponible, il est possible d'utiliser l'échantillonneur existant en entrée de STEP.

sans activation S9), test des daphnies (reproduction de puces d'eau avec *Ceriodaphnia dubia*) et test combiné des algues vertes. Ces tests conviennent également ici, mais comme ils sont relativement coûteux, il est recommandé de ne les utiliser qu'en cas de suspicion concrète (c'est-à-dire lorsque les autres paramètres s'écartent des valeurs habituelles sans autre explication plausible). Selon la taille de la STEP et le degré d'industrialisation du bassin versant, les biotests devraient être effectués régulièrement. Ces tests ne sont pas effectués en ligne, mais sur la base d'échantillons individuels. Cependant, il est tout à fait possible qu'à moyen terme, des biotests en ligne appropriés et pouvant être mis en place sans effort disproportionné s'établissent. Ceux-ci devront alors être utilisés prioritairement.

Tableau 7. Aperçu des biotests, des organismes d'essai utilisés et des effets détectables (selon Langer et Kienle, 2016)

Biotest	Organisme de test	Effets prouvés
Test d'Ames	Bactéries (salmonelles)	Modification héréditaire du matériel génétique (mutagénicité)
Test de reproduction chronique des puces d'eau	Puces d'eau	Inhibition de la reproduction, taux de survie plus faible
Test combiné des algues	Algues vertes	Inhibition de la photosynthèse (notamment sous l'effet de certains herbicides) et de la croissance

4.3. Fréquence et représentativité des mesures

Une recommandation concernant la fréquence d'analyse des paramètres d'exploitation de la STEP et de l'ozonation est donnée dans le chapitre 4.1.

Pour les paramètres de surveillance de l'ozonation (chap. 4.2), deux phases différentes sont distinguées (cf. tab. 6) :

- 1) **La première année suivant la mise en service de l'ozonation (évaluation du fonctionnement normal) ou le dernier changement observé dans la composition des eaux usées** : une campagne de mesure intensive avec une fréquence d'échantillonnage élevée est recommandée.
- 2) **La deuxième année et les suivantes après la mise en service de l'ozonation ou le dernier changement observé dans la composition des eaux usées**: la fréquence d'échantillonnage peut être réduite si les eaux usées étaient non-problématiques durant la première année.

Pour simplifier le programme d'échantillonnage, la fréquence recommandée des analyses de bromures se base sur l'intervalle de mesure des 12 substances de l'ordonnance du DETEC (cf. OEaux Annexe 3.1 ch. 41). Cependant, la fréquence peut varier indépendamment de l'efficacité du traitement des micropolluants, c.à.d. qu'en cas de changements dans le bassin versant ou de suspicion concrète, la fréquence d'analyse des paramètres proposés peut être augmentée même si le taux d'épuration des micropolluants de 80% est respecté.

De façon générale, les fréquences d'échantillonnage des paramètres de surveillance peuvent être augmentées ou réduites en fonction de la situation (tout en respectant le principe de proportionnalité). Plusieurs facteurs devraient entraîner une augmentation des fréquences d'analyse :

- des changements suspects au niveau de l'exploitation de la STEP/l'ozonation (« divergence par rapport au fonctionnement normal »)
- des variations importantes dans la composition des eaux usées (p.ex. en raison de rejets industriels irréguliers)
- des changements connus le bassin versant
- une forte industrialisation avec des industries suspectes/problématiques (fig. 3) dans le bassin versant
- un faible facteur de dilution dans le cours d'eau, un captage d'eau potable situé en aval ou un cours d'eau écologiquement sensible.

Dans tous les cas, une bonne connaissance du bassin versant de la STEP est cruciale pour définir des intervalles de mesure adaptés et le meilleur moment pour procéder à l'échantillonnage. En cas de soupçons concernant d'autres sous-produits d'oxydation problématiques, des mesures supplémentaires peuvent être effectuées.

Dans les « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (VSA, 2017), il est recommandé que les investigations soient effectuées à partir d'échantillons composites constitués chacun de 5 échantillons journaliers. Dans le présent concept de surveillance, l'exploitation quotidienne étant importante et plusieurs échantillons étant répartis sur l'année, la durée d'échantillonnage habituelle (48 heures pour les analyses coïncidant avec contrôle du taux d'épuration et 24 heures pour les paramètres d'exploitation) est considérée comme suffisante. Pour les paramètres mesurables à l'aide de sondes en ligne, il est recommandé de procéder de cette manière.

De manière générale, il faut veiller à ce que l'échantillon soit représentatif (échantillonnage par temps sec, temps de pluie, différents jours de semaine, etc.). Les émissions de substances dans les entreprises qui produisent par batch se produisent de manière intermittente. Dans ce cas, il est recommandé de prélever des échantillons sur une longue période (p. ex. échantillons composites sur une ou deux semaines renouvelés sur plusieurs mois). Lors de l'échantillonnage, il faut également tenir compte de différents aspects comme les vacances des entreprises, des productions dynamiques ou de facteurs saisonniers.

4.4 Evaluation globale et mesures possibles

Dans l'évaluation globale, les eaux usées peuvent être évaluées selon les valeurs définies dans le module 2 de la recommandation du VSA « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (VSA, 2017) et réparties dans les trois catégories suivantes:

- **Eaux usées non-suspectes** : Aucun changement significatif n'est survenu dans la composition des eaux usées. L'ozonation est toujours adaptée.
- **Eaux usées indéterminées** : Des modifications périodiques semblent se produire dans la composition des eaux usées. Cela indique la présence possible de nouveaux rejets problématiques ou de modifications de procédés industriels existants dans le bassin versant de la STEP. Les exploitants de STEP en collaboration avec les autorités compétentes doivent chercher à identifier la nature de ces modifications ainsi que leurs origines, à l'aide, par exemple, de mesures effectuées sur le réseau. Ils doivent également montrer que ces modifications ne sont pas problématiques pour la qualité des eaux en sortie d'ozonation. Dans ce cas, il est recommandé de procéder à une analyse des risques.

Le cas échéant, les autorités cantonales compétentes doivent convenir avec l'industrie concernée de la marche à suivre et des mesures nécessaires (cf. chap. 5). L'accent est mis sur les mesures au niveau de la STEP et à la source, à moyen et long terme, qui peuvent être mises en place à peu de frais et un minimum de moyens (bon rapport coût-bénéfice).

- **Eaux usées suspectes:** La composition des eaux usées s'est considérablement modifiée. L'ozonation est problématique pour ces eaux usées. Les autorités compétentes en collaboration avec les exploitants de STEP doivent identifier la nature de ces modifications ainsi que leurs origines, à l'aide, par exemple, de mesures effectuées sur le réseau. Les autorités cantonales compétentes doivent discuter avec l'industrie concernée de la suite de la procédure et des mesures à prendre (cf. chap. 5). En plus de mesures immédiates, des mesures à moyen et long terme doivent être étudiées et mises en place à la source aussi bien qu'à la STEP. L'objectif est de revenir à un état, où une protection efficace des eaux est garantie.

Une évaluation est aussi possible en comparant les résultats des analyses avec les valeurs de référence établies dans le cadre de l'évaluation du fonctionnement normal de l'ozonation.

5. Mesures possibles

Les autorités compétentes vérifient périodiquement si les exigences relatives aux eaux usées rejetées par les industries ou la STEP assurent une protection efficace des eaux (art. 15 OEaux). Si nécessaire, les autorités compétentes peuvent ordonner les mesures appropriées sur la base de l'art. 7 al. 2 OEaux (déversement dans les égouts publics) et/ou de l'art. 15 al. 1b OEaux (protection efficace des eaux).

Les mesures possibles sont listées par la suite (liste non exhaustive). La praticabilité et la mise en œuvre de ces mesures doivent être vérifiées au cas par cas.

Mesures immédiates (pour les eaux usées suspectes et un potentiel de dommages élevé¹⁰)

- Mettre hors service l'ozonation en concertation avec le canton, identifier la cause et prendre des mesures
- Arrêter le captage d'eau potable si des sous-produits d'oxydation problématiques sont présents en concentrations critiques

Une fois le problème identifié et corrigé, l'ozonation peut être remise en service. Dans le cas contraire, des mesures à moyen et long terme à la source ou à la STEP seront nécessaires.

Mesures à la source à moyen/long terme

- Changer le processus industriel incriminé
- Prétraitement approprié des eaux usées de l'industrie/artisanat avant rejet dans les égouts ou apport des eaux usées à la STEP à l'aide d'une conduite séparée pour un traitement spécifique avant rejet dans les eaux
- Exigence cantonale limitant la charge/les concentrations de rejet des précurseurs connus
- Autre filière d'élimination des eaux usées de l'industrie/de l'artisanat, p. ex. autre STEP sans ozonation, élimination des eaux industrielles comme déchets (spéciaux) en s'assurant que

¹⁰ Le potentiel de dommages (milieu récepteur, captages d'eau potable) doit être déterminé dans un stade préliminaire.

ceux-ci soient traités/éliminés sans porter préjudice au fonctionnement d'une autre station d'épuration (art. 12 LEaux), rejet direct dans un cours d'eau, etc.

- Tamponnage de la charge à l'aide de réservoirs de stockage sur le site industriel/artisanal et déversement continu vers la STEP, pour éviter des pics de concentration
- Relocalisation des procédés critiques de l'industrie/de l'artisanat concerné

Mesures au niveau de la STEP à moyen/long terme

- Optimisation du fonctionnement de l'ozonation, p.ex. stratégie de réglage BEAR (Schachtler et Hubaux, 2016), dosage d'ozone en plusieurs étapes (Hubaux et Schachtler, 2016) ou éventuellement dosage de peroxyde d'hydrogène (Soltermann et al., 2019 ; jusqu'à présent, seulement au stade de recherche) pour réduire la formation de bromates, etc.
- Réduire la dose d'ozone ou arrêter le dosage le temps nécessaire (dans des cas particuliers et si l'arrivée de substances problématiques à la STEP est connue). Un arrêt de l'ozonation n'est pertinent que pour les pics de bromure plus longs (> 24h) (Soltermann et al., 2019). Cependant, le taux d'épuration prescrit doit être respecté (exigences Annexe 3.1 OEaux).
- Ultime possibilité : Mettre l'ozonation hors service et la remplacer par un procédé de traitement au charbon actif (sans les indemnités de 75% de l'OFEV) ou une combinaison ozone et charbon actif (p.ex. en remplaçant le sable de la filtration par du charbon actif en grains). Les coûts devraient être supportés par le pollueur conformément à l'art. 31 LEaux.

6. Conclusion

Dans les STEP suisses, les installations d'ozonation ne sont réalisées que si les eaux usées ont été classées comme appropriées sur la base de la recommandation du VSA « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (VSA, 2017). Dans ces conditions, l'ozonation peut être réalisée sans problème si le concept de surveillance présenté ici est appliqué, c'est-à-dire si l'autorité chargée de l'application est informée des changements industriels dans le bassin versant de la STEP, si l'exploitant entretient de bons contacts réguliers avec les industries concernées et si les paramètres proposés dans ce document sont surveillés.

7. Bibliographie

- AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich (2018). Betriebsüberwachung der Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe auf Zürcher ARA – Richtlinie
- Hubaux, N., Schachtler, M. (2016) – Mehrstufiger Ozoneintrag - LOD-Konzept. Reduzierung des Ozonverbrauchs bei gleichbleibender Elimination der Mikroverunreinigungen. Aqua & Gas 11/2016: 50 – 56.
- Langer, M. und Kienle, C. (2016). Effektmessung: Ökotoxikologische Biotests zur Beurteilung der Abwasserbehandlung. 79./80. VSA-Fortbildungskurs: Mikroverunreinigungen, Emmetten.
- Lee, Y., von Gunten U. (2016). Advances in predicting organic contaminant abatement during ozonation of municipal wastewater effluent: reaction kinetics, transformation products, and changes of biological effects. Environmental Science: Water Research and Technology, 2, 421-442.
- Plateforme VSA (2016). Konzepte zur Überwachung der Reinigungsleistung von weitergehenden Verfahren zur Spurenstoffelimination. www.micropoll.ch
- Plateforme VSA (2018). Expériences avec les sondes UV/VIS pour surveiller l'élimination des composés traces dans les stations d'épuration. www.micropoll.ch
- Schachtler, M., Hubaux, N., (2016) – BEAR – Innovative Regelstrategie der Ozonung. Aqua & Gas 5/2016: 84 – 93.
- Schärer, M., Abegglen, Ch., Dominguez, D., Purtschert, I., Weber S. (2014): Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen. Vollzughilfe für zentrale Abwasserreinigungsanlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1418: 37 S.
- Soltermann, F., Abegglen, Ch., Götz, Ch., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2016). Bromid im Abwasser: Bromatbildung bei der Ozonung – Einschätzung der zukünftigen Situation. Aqua & Gas 10/2016: 64–71.
- Soltermann, F., Abegglen, Ch., Tschui, M., Götz, C., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2019). Verminderung der Bromatbildung – Mögliche Strategien zur Minimierung der Bromatbildung bei der Abwasserbehandlung mit Ozon. Aqua & Gas 1/2019: 14-21.
- Thalmann, B., Kägi, R., von Gunten, U. (2018) Metalle in der Ozonung – Verhalten von ausgewählten Metallen: Oxidation von Metallsulfiden und Metallkomplexen. Aqua & Gas 4/2018: 68-77.
- Vriens, B., Vögelin, A., Hug, S., Kägi, R., Berg, M., Winkel, L., Buser, A. (2018). Spurenelemente in Schweizer Abwasser – Aktuelle Konzentrationen und Frachten. Aqua & Gas 1/2018: 40-46.
- VSA (2017). Empfehlung „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“: www.micropoll.ch