Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

EXPLOITATION D'UNE OZONATION DANS UNE STEP : RECONNAITRE DES DÉVELOPPEMENTS CRITIQUES DANS LE BASSIN VERSANT

Recommandation

Etat: 10 août 2021

2021

Mentions légales

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 pour dommages matériels ou immatériels consécutifs à l'utilisation de la présente publication est exclue.

Auteurs

Pascal Wunderlin, Plateforme VSA « Techniques de traitement des micropolluants », Glattbrugg
Julie Grelot, Plateforme VSA « Techniques de traitement des micropolluants », Glattbrugg

Équipe de projet

Christian Abegglen, ERZ, Zurich
Antoine Benacloche, Ville de Neuchâtel
Hélène Bleny (anciennement BAFU), désormais uwe, Lucerne
Damian Dominguez, OFEV, Berne
Edith Durisch-Kaiser, AWEL, Zurich
Claude-Alain Jaquerod DGE, Lausanne
Nadir Kheyar, SECOE, Genève
Hugues Lecoultre, SENE, Neuchâtel
Patrick Locher, AWA, Berne
Valentin Lanz, AFU, Herisau
Reto Manser, AWA, Berne
Jonas Margot, RWB, Yverdon
Pauline Perdaems, SIG, Genève
Alessandro Piazzoli, Envilab AG, Zofingen
Pascal Ramaciotti, SIG, Genève
Max Schachtler, STEP de Neugut, Dübendorf
Denis Thonney, SIGE, Vevey
Urs von Gunten, Eawag, Dübendorf

Éditeur

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Photo de titre

STEP de Werdhölzli, ERZ, Zurich

Source

VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
Téléphone 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

SOMMAIRE

1 Résumé 5

2 Contexte 6

3 Bases légales 6

4 Sous-produits d'oxydation 7

5 Acteurs pertinents 7

6 Marche à suivre et aspects à surveiller 8

6.1 Remarques générales 8
6.2 Bassin versant 10
6.2.1 Échange périodique entre les acteurs pertinents du bassin versant de la STEP 10
6.2.2 Aperçu actuel des entreprises industrielles/artisanales pertinentes pour les eaux usées 11
6.3 Surveillance de la STEP et de l'ozonation 12
6.3.1 Détection des influences industrielles à l'aide des données d'exploitation de la STEP 13
6.3.2 Détection des influences industrielles à l'aide des données d'exploitation de l'ozonation 13
6.4 Sous-produits d'oxydation problématiques connus et de leurs précurseurs 13
6.5 Sous-produits d'oxydation toxiques inconnus 13

7 Mise en œuvre de la surveillance 14

7.1 Intégration des connaissances existantes 14
7.1.1 STEP possédant un bassin versant simple et non problématique 14
7.1.2 STEP possédant un bassin versant plus complexe et/ou pouvant avoir des influences (industrielles ou artisanales) problématiques sur l'ozonation 15
7.2 Adaptation de la surveillance et détermination de la marche à suivre 17
7.2.1 Eaux usées non-suspectes : ozonation toujours appropriée 17
7.2.2 Modifications de la composition des eaux usées pouvant entrainer des effets sur l'ozonation 17

8 Échantillonnage et représentativité 18

9 Collecte centralisée et archivage de données 18

10 Renseignement en cas de questions et d'incertitudes 18

11 Annexe 19

11.1 Annexe 1 : Illustration des processus de communication 19
11.2 Annexe 2 : Détection des influences industrielles à l'aide des données d'exploitation de la STEP 20
11.3 Annexe 3 : Propositions de mesures possibles 24

1 RÉSUMÉ

L’ozonation a fait ses preuves en tant que procédé d’élimination des micropolluants dans les stations d’épuration des eaux usées (STEP). Lors de l’ozonation d’eaux usées avec une charge spécifique (p. ex. d’importants déversements d’eaux usées industrielles), des sous-produits d’oxydation problématiques (p. ex. bromates, nitrosamines) peuvent être formés en quantités significatives, parallèlement à l’élimination souhaitée des micropolluants. **Le VSA recommande donc aux services cantonaux et aux exploitants de STEP ayant une ozonation de surveiller de manière ciblée la composition des eaux usées et leur adéquation au procédé d'ozonation.** Cette procédure inclut les domaines suivants :

- Bassin versant (démarche préventive)
- STEP et ozonation
- Sous-produits d'oxydation problématiques connus et leurs précurseurs en entrée et sortie de STEP
- Sous-produits d'oxydation toxiques inconnus en sortie de STEP

Lorsque les bassins versants sont complexes ou qu’il existe des influences potentiellement problématiques (industrielles et artisanales) sur l'ozonation, la surveillance doit être adaptée en conséquence et intensifiée. Lorsque certains éléments indiquent que la composition des eaux usées a changé, il convient de vérifier si les effets sur l'ozonation sont critiques. Les évolutions sont plus particulièrement critiques lorsque des sous-produits d'oxydation indésirables (p. ex. bromates, nitrosamines) sont formés en quantités significatives ou lorsque la toxicité engendrée par le traitement à l'ozone augmente. Dans de telles situations, il convient d'identifier la cause et, si nécessaire, de prendre des mesures en conséquence.

Ce document s'adresse aux autorités chargées de l'exécution, aux exploitants d'installations d'ozonation dans des stations d’épuration communales, aux décideurs communaux, ainsi qu'à d'autres acteurs pertinents, tels que des industries utilisant des processus pertinents pour les eaux usées.

2 CONTEXTE

Les composés traces organiques ou micropolluants (appelés MP dans ce document) peuvent avoir des impacts préjudiciables sur la vie aquatique dans nos rivières et nos lacs et polluer les ressources en eau potable. Une étape de traitement supplémentaire visant à éliminer ces substances dans les eaux usées communales permet d'améliorer sensiblement la qualité de l'eau. Les procédés de traitement possibles sont l'adsorption sur charbon actif ou l'ozonation[1]. À l'instar d'autres procédés, l'ozonation est un procédé établi, approprié et rentable pour cette application.

Le procédé doit être choisi en tenant compte des conditions-cadres spécifiques. Il peut s'agir de l'espace disponible dans la STEP ou de l'étape de traitement biologique existante. En ce qui concerne les procédés de traitement au charbon actif, il convient de veiller à ce que la perte de charbon actif dans les eaux soit minimale. Il est donc recommandé de surveiller la part de substances solides en sortie de STEP via des mesures de MES et de turbidité, ainsi que des mesures directes de pertes de charbon actif[2].

Une condition-cadre spécifique pour l'ozonation est la composition des eaux usées. En effet, en cas de charge spéciale due par exemple à des rejets importants d'eaux usées industrielles ou artisanales, des substances problématiques, appelées sous-produits d'oxydation, peuvent être formées en quantités significatives lors de l'ozonation. Il convient donc de vérifier lors du choix du procédé si des eaux usées spécifiques conviennent à un traitement par ozonation[3]. **La composition des eaux usées doit être surveillée de manière ciblée afin de pouvoir détecter d'éventuels changements après la mise en service de l'ozonation.** C'est dans ce but que le présent document a été élaboré.

Dans ce document, la mise en service d'une ozonation représente le moment où l'ozonation fonctionne de manière stable et où on peut s'attendre à ce que le taux d'épuration de 80 % des composés traces organiques soit respecté. Une divergence par rapport au « fonctionnement habituel » est définie ici comme une modification à long terme de la composition des eaux usées. Les évènements ponctuels tels que les incidents ou les accidents ne sont pas pris en compte et doivent être évalués au cas par cas.

Recommandation du VSA

Le VSA recommande d'appliquer la procédure décrite dans le présent document pour reconnaître les développements critiques dans la composition des eaux usées, lorsqu'une ozonation est en service à la STEP communale. Lorsque des changements pertinents surviennent dans la composition des eaux usées, il convient de vérifier leur impact sur l'ozonation et, le cas échéant, de prendre des mesures correspondantes. Cette approche permet de garantir une protection efficace des eaux sur le long terme.

3 BASES LÉGALES

Lors de la mise en place d'une étape de traitement supplémentaire pour l'élimination des MP, les bases légales suivantes s'appliquent : art. 3 de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux[4]; devoir de diligence) et art. 6 LEaux (interdiction de polluer).

[1] Wunderlin, P., Meier, A., Grelot, J. (2017). Élimination des micropolluants dans les STEP - État actuel des procédés et évolutions futures. Aqua & Gas 11/2017: 60-70.
[2] VSA (2019). État actuel de l'évaluation de la rétention de charbon actif. www.micropoll.ch
[3] VSA (2021). Recommandation « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (Version 2). www.micropoll.ch
[4] Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991 (état au 1er janvier 2021), 814.20

Elles stipulent qu'il est interdit d'introduire dans une eau des substances ayant des effets nuisibles ou de nature à la 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.

Les autorités compétentes vérifient périodiquement si les exploitations industrielles ou artisanales et les STEP respectent les exigences de déversement et si elles garantissent une protection efficace des eaux (art. 15 OEaux)[5].

Les autorisations de déversement des eaux usées industrielles sont délivrées par les autorités d'exécution cantonales conformément à l'annexe 3.2 OEaux. Si la STEP ne peut pas respecter les exigences qui lui incombent en raison de déversements d'eaux usées industrielles ou si le fonctionnement de la STEP est perturbé, l'autorité renforce les exigences relatives au déversement de l'exploitation industrielle responsable.

4 SOUS-PRODUITS D'OXYDATION

Lors d'une ozonation, les MP sont transformés par l'ozone et les radicaux OH. Il subsiste généralement des produits de transformation non problématiques de composés traces appelés « produits de transformation ». Ces derniers n'ont aucun effet ou un effet nettement inférieur à celui de la substance initiale.

Par ailleurs, des sous-produits d'oxydation sont formés à partir des substances organiques et anorganiques contenues dans les eaux usées. La plupart d'entre elles sont biodégradables et de nouveau éliminées par l'étape de traitement complémentaire biologiquement active[6] (p. ex. filtration sur sable). Ces substances peuvent être des aldéhydes, des cétones ou des acides organiques[7]. Lors du traitement d'eaux usées à forte composante industrielle ou artisanale, des quantités importantes de sous-produits d'oxydation problématiques (potentiellement toxiques) tels que les bromates ou nitrosamines peuvent se former. Ces produits sont insuffisamment éliminés lors de l'étape de traitement complémentaire. Un traitement à l'ozone ne convient donc pas à ces eaux usées.

5 ACTEURS PERTINENTS

Les activités industrielles et artisanales dans le bassin versant d'une STEP peuvent affecter le fonctionnement de l'ozonation. Le Tableau 1 identifie les principaux acteurs et décrit leurs rôles. La situation peut différer selon les cantons ou les communes.

Tableau 1. Aperçu des acteurs et de leurs responsabilités lors des phases de réalisation et d'exploitation de l'ozonation (cas normal suisse ; des exceptions sont possibles, p. ex. définition des autorisations de déversement industriel par la commune).

Acteurs	Tâches
Industrie/artisanat	• Respecter les conditions de déversement prescrites. • Ne pas perturber ou altérer le fonctionnement du réseau d'égouts public et de la STEP centrale. • Assurer une communication proactive avec la STEP concernée. • Notifier à l'autorité cantonale toute modification de procédé pertinent pour les eaux usées requérant une adaptation de l'autorisation de déversement.

[5] Ordonnance de protection des eaux (Oeaux) du 28 octobre 1998 (état au 1er janvier 2021), 814.201
[6] VSA (2018). Aperçu des procédés destinés au post-traitement biologique lors de l'ozonation. www.micropoll.ch
[7] 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.

	• Informer les fournisseurs de produits chimiques pour remplacer les composants connus et problématiques.
STEP/syndicat des eaux usées	• Respecter les conditions de déversement prescrites. • Assurer une communication proactive avec les industries pertinentes du bassin versant. • Notifier aux autorités cantonales les incidents extraordinaires pouvant avoir des effets (potentiellement) négatifs sur le fonctionnement de la STEP (p. ex. dysfonctionnement) ou le rendement d'épuration (dépassement des exigences de déversement).
Autorité(s) cantonales(s) **(responsables de l'épuration des eaux usées et de la protection de l'environnement au sein de l'entreprise)**	• Accorder l'autorisation de déversement aux exploitations industrielles ou artisanales et aux STEP. • Vérifier si l'implantation d'une nouvelle industrie ou la modification d'un procédé industriel a un effet pertinent lors de l'ozonation des eaux usées • Ordonner des mesures en cas d'effets négatifs sur la STEP. • Sensibiliser les entreprises industrielles/artisanales sur l'ozonation mise en place à la STEP.
Autorité(s) communale(s)	• Prendre des décisions concernant le développement futur du bassin versant (p. ex. mesures pour les entreprises industrielles). • Transmettre les demandes de permis de construire relatives à la protection des eaux à l'autorité cantonale compétente. • Initier la communication entre la STEP et les industries pertinentes.

Les fournisseurs d'eau potable situés en aval sont également des acteurs pertinents, car les captages en aval peuvent être pollués par des sous-produits d'oxydation problématiques. Par ailleurs, ces substances (p. ex. bromates) peuvent affecter le traitement de l'eau potable. Il est donc recommandé de prendre contact avec les entreprises d'approvisionnement en eau potable concernées dès la phase de planification de l'étape de traitement des MP.

6 MARCHE À SUIVRE ET ASPECTS À SURVEILLER

6.1 Remarques générales

Les activités pertinentes pour les eaux usées doivent être surveillées dans le bassin versant de la STEP, afin de pouvoir détecter suffisamment tôt tout changement important dans la composition des eaux usées. Il convient à cet effet de faire une distinction entre une approche préventive et un monitoring basé sur des paramètres (Figure 1). La marche à suivre s'articule en quatre domaines :

- **Bassin versant** (procédure préventive) : il est nécessaire d'élaborer un aperçu actuel des activités industrielles et artisanales pertinentes pour les eaux usées dans le bassin versant. Pour cela, un échange régulier (au moins une fois par an) doit avoir lieu entre la STEP, les entreprises industrielles/artisanales pertinentes ainsi que les autorités communale et cantonale.

- **STEP et ozonation** (monitoring basé sur des paramètres) : l'exploitation de la STEP et de l'ozonation est surveillée et pilotée à l'aide de paramètres choisis. Ces données fournissent des informations importantes sur les écarts par rapport à la composition des eaux usées « habituelle ».
- **Sous-produits d'oxydation connus problématiques et leurs précurseurs** (monitoring basé sur des paramètres) : les sous-produits d'oxydation problématiques connus et quantifiables doivent être surveillés périodiquement en entrée et sortie de STEP. Parmi ces sous-produits figurent les bromates et nitrosamines, ainsi que le précurseur bromure.
- **Sous-produits d'oxydation inconnus toxiques** (monitoring basé sur des paramètres) : les sous-produits d'oxydation inconnus toxiques ne peuvent pas être quantifiés et détectés par le biais d'analyses chimiques. Ils doivent donc être caractérisés par des biotests appropriés.

Les coûts et le temps consacré à la surveillance doivent être aussi faibles que possible. Il est donc important d'intégrer les informations disponibles ou habituellement collectées, ainsi que les données d'exploitation des STEP. Il convient aussi d'utiliser les moyens de communication déjà établis (p. ex. entre la STEP et les différentes industries du bassin versant) et de les intensifier si besoin. Les coûts et le temps consacré à la surveillance augmentent pour un bassin versant complexe ou si des changements importants de la composition des eaux usées nécessitent des vérifications approfondies.

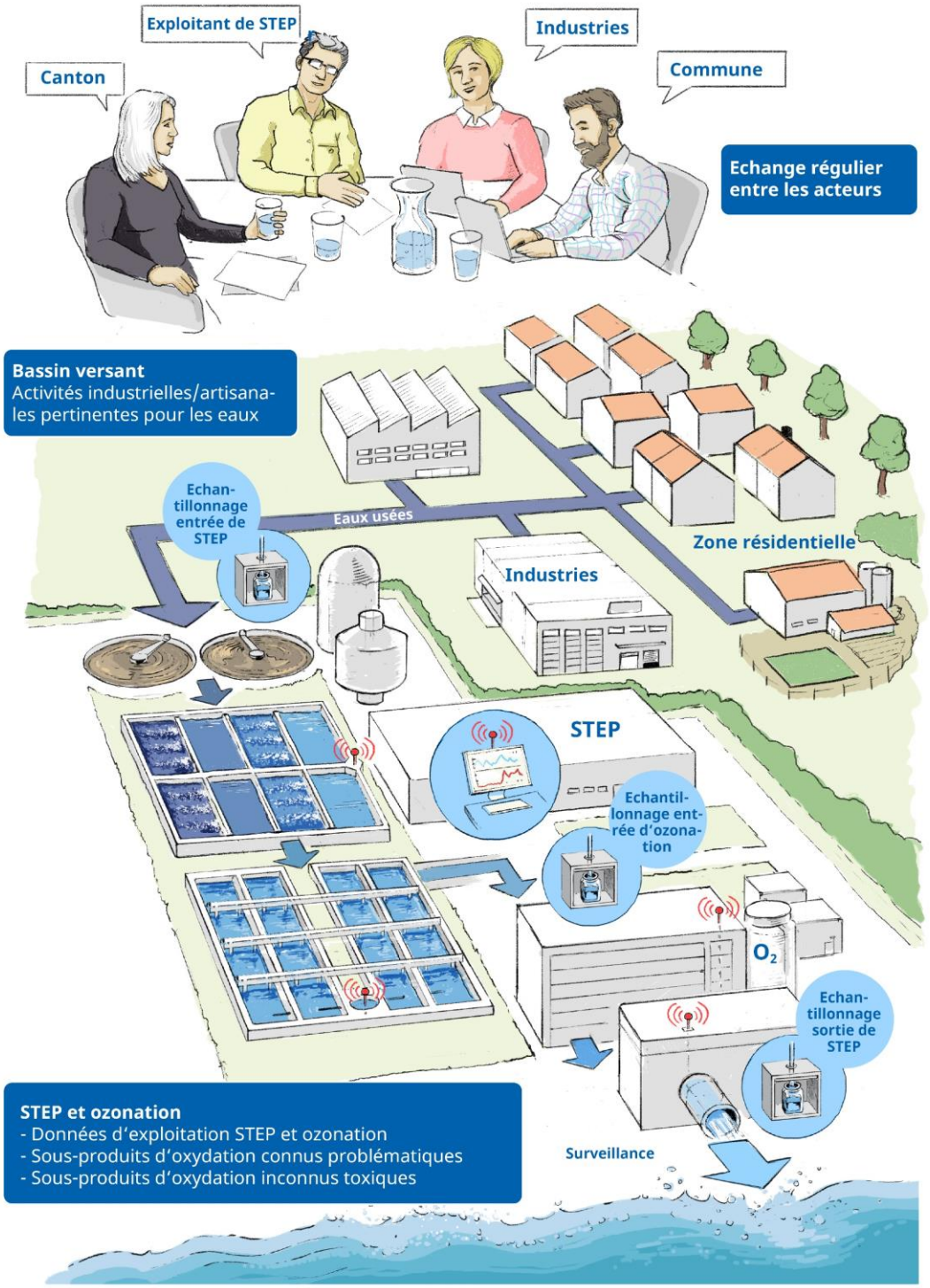

Figure 1. Les activités industrielles et artisanales liées aux eaux usées dans le bassin versant de la STEP doivent être connues. Cela nécessite un échange régulier entre les acteurs. En outre, certains paramètres de fonctionnement de la STEP et de l'ozonation, ainsi que les sous-produits d'oxydation, peuvent être utilisés pour identifier les influences industrielles/artisanales sur la composition des eaux usées.

6.2 Bassin versant

6.2.1 Échange périodique entre les acteurs pertinents du bassin versant de la STEP

Il est important que les STEP, les industries, les autorités communales et cantonales échangent régulièrement, ce qui est souvent déjà le cas. Ces échanges doivent également être mis à profit pour l'ozonation. Vous trouverez ci-après un aperçu des flux d'information entre ces

différents acteurs. L'Annexe 1 : Illustration des processus de communication montre comment cette démarche préventive est mise en œuvre dans la pratique.

- **Flux d'informations entre la STEP et les industries pertinentes :** il est important que la STEP et les industries pertinentes du bassin versant établissent un contact direct. Ces rencontres ont souvent déjà lieu, car elles ne concernent pas uniquement le procédé d'ozonation. Ce faisant, la STEP se familiarise souvent avec les processus industriels ou artisanaux pertinents pour les eaux usées. De leurs côtés, les industries améliorent leur compréhension des substances problématiques pour l'exploitation des STEP. L'instauration de rapports de confiance permet de jeter les bases d'une collaboration constructive. Il est donc recommandé d'organiser ce type de rencontre régulièrement (p. ex. une fois par an). Dans les petites STEP, le soutien de l'autorité cantonale est primordial.
- **Flux d'information entre les autorités communale et cantonale :** l'autorité communale informe l'autorité cantonale des changements industriels et artisanaux pertinents pour les eaux usées, dont elle a connaissance par les demandes de permis de construire. L'autorité cantonale vérifie les éventuels effets de ces changements sur la STEP ou l'ozonation, puis octroie l'autorisation de déversement.
- **Flux d'informations entre l'autorité chargée de l'exécution et les industries pertinentes :** l'autorité cantonale veille à échanger régulièrement avec les industries pertinentes dans le cadre de la surveillance officielle. La fréquence de ces échanges dépend de la dynamique et de la pertinence de l'industrie concernée et est définie par l'autorité cantonale. L'autorité cantonale transmet les informations pertinentes sur l'ozonation à ces entreprises et les sensibilise aux substances problématiques pour l'ozonation contenues dans les eaux usées.
- **Flux d'information au sein des services cantonaux :** un échange régulier au sein des services cantonaux (p.ex. en charge de l'épuration des eaux usées, de l'industrie et artisanat, de la qualité des eaux) est recommandé.

6.2.2 Aperçu actuel des entreprises industrielles/artisanales pertinentes pour les eaux usées

Idéalement, l'autorité cantonale connait les activités industrielles et artisanales du bassin versant de la STEP concernée, ainsi que les processus utilisés produisant des eaux usées. Mais dans la plupart des cas, les autorités connaissent uniquement les concentrations et les charges des paramètres comportant des exigences chiffrées selon l'annexe 3.2 OEaux[8]. Généralement, les autres substances contenues dans les eaux usées et les précurseurs de sous-produits d'oxydation problématiques sont inconnus. Par ailleurs, la composition des eaux usées peut évoluer au cours du temps en fonction des activités industrielles et artisanales exercées (p. ex. dans les entreprises de sous-traitance).

Les entreprises ayant les caractéristiques suivantes sont plus particulièrement pertinentes pour l'ozonation :

- **Entreprises rejetant des charges élevées :** ces entreprises peuvent affecter les STEP, car elles représentent une part élevée des charges d'eaux usées. Elles jouent un rôle d'autant plus important, lorsqu'elles déversent leurs eaux usées dans des petites ou moyennes STEP affichant une dilution proportionnellement réduite.
- **Entreprises présentant une grande variété de substances :** les entreprises peuvent avoir des eaux usées avec une composition très variée (p. ex. sous-traitants), car elles utilisent, fabriquent ou transforment de nombreuses substances différentes. Elles peuvent également utiliser plusieurs processus simultanément.
- **Entreprises avec des déversements intermittents (production par batchs) :** les entreprises déversent leurs eaux usées soit de manière intermittente soit de manière continue. Lorsque les déversements sont intermittents, il convient de noter que la composition des eaux usées peut varier en conséquence.

[8] Wunderlin, P., Gulde, R. (en cours d'élaboration), Analyse de situation « Apports de substances de l'industrie et de l'artisanat dans les eaux ». Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg.

Des entreprises industrielles ou artisanales potentiellement pertinentes peuvent être identifiées dans le bassin versant de la STEP à l'aide des aspects suivants (énumération non exhaustive) :

- Quelles sont les charges en substances organiques (DCO), en azote et en phosphore déversées par rapport à la taille de la STEP ? Des charges élevées n'impliquent pas forcément des effets négatifs sur l'ozonation.
- Quelle est la variété de substances utilisées dans les procédés pertinents pour les eaux usées ? Les grandes entreprises n'utilisent pas forcément une grande variété de substances.
- Quelle est l'étendue des connaissances sur les composants présents dans les eaux usées de l'entreprise ? Généralement, les grandes entreprises de l'industrie chimique et pharmaceutique ont une meilleure connaissance que d'autres entreprises des substances utilisées.
- Sur quelles substances contenues dans les eaux usées le traitement des eaux usées de l'entreprise est-elle axée ? Les substances problématiques peuvent être efficacement réduites grâce à une gestion des eaux usées en entreprise conçue en conséquence.
- Quelle est la complexité de l'entreprise ? Les grandes entreprises n'ont pas forcément une grande variété de substances.
- Quelle est la complexité du bassin versant ? Combien d'entreprises pertinentes pour les eaux usées peuvent influencer la composition des eaux usées de la STEP ?

L'accent est mis sur les déversements de nitrosamines et de leurs précurseurs (p. ex. composés contenant de l'amine), ainsi que de bromures. Les sources de nitrosamines sont souvent inconnues, contrairement à celles de bromures. Les déversements possibles de bromures surviennent surtout dans les branches suivantes (voir également[9,10]) : industrie chimique et pharmaceutique, usines d'incinération des ordures ménagères avec lavage des fumées par voie humide (le bromure provient ici principalement des retardateurs de flamme), décharges (types C, D et E), élimination des déchets spéciaux, circuits de refroidissement semi-ouverts et autres sources moins importantes (p. ex. toilettes chimiques). Une liste non exhaustive des sources possibles de ces substances est disponible sous le lien suivant.

Au cours des prochaines années, la plateforme « Techniques de traitement des micropolluants » élaborera en collaboration avec un groupe d'experts un aperçu des micropolluants pertinents pour les eaux usées à l'attention des secteurs et des processus priorisés[11]. Outre les bromates et nitrosamines, d'autres substances peuvent se révéler pertinentes pour l'ozonation. Il est donc recommandé d'analyser plus précisément les substances pertinentes pour les eaux usées dans les entreprises identifiées du bassin versant et d'évaluer leur pertinence pour l'ozonation. La plateforme « Techniques de traitement des micropolluants » peut être consultée à cet effet.

6.3 Surveillance de la STEP et de l'ozonation

Les STEP et l'ozonation sont exploitées et surveillées selon des paramètres choisis. Ces données sont utilisées pour détecter des influences industrielles ou artisanales sur la composition des eaux usées. Il est donc recommandé d'analyser des paramètres sélectionnés pendant au moins un an en fonctionnement stable (généralement après la mise en service de l'ozonation). Cela permet de caractériser le « fonctionnement habituel » et de distinguer plus facilement les variations normales des autres influences. Des divergences significatives (p. ex. écarts récurrents ou prolongés) de ces paramètres d'exploitation ne pouvant être expliquées autrement fournissent des informations sur un changement potentiellement per-

[9] VSA (2021). Recommandation « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (Version 2). www.micropoll.ch
[10] 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.
[11] Wunderlin, P., Gulde, R. (2021). Apports de substances de l'industrie et de l'artisanat dans les eaux. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg.

tinent de la composition des eaux usées. Mais ces divergences ne sont pas forcément problématiques pour l'ozonation. Des analyses plus approfondies sont alors nécessaires (voir le chapitre 7). Il est par conséquent recommandé de saisir et d'évaluer en continu ces paramètres (d'exploitation) appropriés. Si ces paramètres ne sont pas déjà mesurés, il n'est pas nécessaire de le faire en plus.

6.3.1 Détection des influences industrielles à l'aide des données d'exploitation de la STEP

Des paramètres d'exploitation sont régulièrement surveillés en entrée et en sortie de STEP. Exemples de paramètres appropriés permettant de détecter des influences industrielles ou artisanales :

- Fluctuations journalières, hebdomadaires et mensuelles typiques de la conductivité en entrée de STEP
- Charges en azote et en carbone en entrée de STEP
    - fluctuations journalières, hebdomadaires et mensuelles typiques
    - par rapport aux personnes raccordées
    - l'une par rapport à l'autre

Vous trouverez un résumé d'autres paramètres appropriés ainsi que des exemples types dans l'Annexe 2 : Détection des influences industrielles dans les STEP et des impacts possibles sur l'ozonation

.

6.3.2 Détection des influences industrielles à l'aide des données d'exploitation de l'ozonation

L'exploitation de l'ozonation est enregistrée et pilotée à l'aide de paramètres choisis. Des divergences significatives de ces données d'exploitation par rapport au cadre « habituel » peuvent révéler des changements dans la composition des eaux usées, dans la mesure où d'autres causes sont exclues. Paramètres possibles :

- Consommation d'O_2 / production d'O_3 (en kg/j)
- Dosage d'O_3 spécifique (en mgO_3/mgCOD)
- Absorbance UV en entrée/sortie d'ozonation
- Élimination de substances « résistantes à l'ozone »[12] (p. ex. sucralose ; en %)

6.4 Sous-produits d'oxydation problématiques connus et de leurs précurseurs

Les sous-produits d'oxydation problématiques connus (p. ex. bromates) et leurs précurseurs (p. ex. bromures) doivent être surveillés périodiquement dans les eaux usées épurées (voir le chapitre 7). Si des bromures ou nitrosamines sont présents en concentrations élevées, d'autres composants d'eaux usées potentiellement problématiques ne sont pas à exclure.

6.5 Sous-produits d'oxydation toxiques inconnus

Des sous-produits d'oxydation toxiques inconnus ne peuvent être détectés qu'à l'aide d'effets combinés (éco)toxiques. Une détection via des analyses chimiques n'est pas possible, car ces substances sont inconnues. Un set minimal de biotests potentiels a été recommandé dans le document « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation »[13] (voir Tableau 2). Ces tests conviennent également à la surveillance du fonctionnement de l'ozo-

[12] Remarque : ces substances permettent indirectement de déterminer l'exposition aux radicaux OH. Un écart de l'exposition aux radicaux OH par rapport aux eaux usées de référence non-problématiques indique un changement dans la composition des eaux usées. Des substances alternatives au sucralose doivent être déterminées au cas par cas.

[13] VSA (2021). Recommandation « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (Version 2). www.micropoll.ch

nation. Mais d'autres biotests appropriés ou des systèmes de biotests en ligne peuvent également être utilisés. Ces analyses doivent être réalisées en cas de suspicion concrète ou de bassins versants complexes (voir chapitre 7).

Tableau 2. Aperçu des biotests, des organismes testés et des effets détectables (selon Langer et Kienle, 2016[14])

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

7 MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE

7.1 Intégration des connaissances existantes

Pour déterminer la mise en œuvre concrète, les connaissances existantes (issues des « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation », par exemple) doivent être exploitées. À cet égard, il convient de faire une distinction entre un...

- bassin versant simple et non problématique et
- un bassin versant plus complexe et/ou pouvant avoir des influences (industrielles et artisanales) problématiques sur l'ozonation.

7.1.1 STEP possédant un bassin versant simple et non problématique

Pour les STEP possédant un bassin versant simple et non problématique, il est recommandé d'appliquer le concept de surveillance minimal suivant :

- Échange régulier (au moins une fois par an) entre les STEP, les entreprises industrielles/artisanales pertinentes et les autorités communale et cantonale.
- Collecte et évaluation continues de paramètres d'exploitation priorisés de la STEP et de l'ozonation.
- Analyse des sous-produits d'oxydation problématiques connus (bromates, nitrosamines) et de leurs précurseurs (bromures) conformément aux données suivantes.
- Des biotests peuvent être réalisés en option ou en cas de soupçons concrets.

Lors de l'analyse de sous-produits d'oxydation problématiques connus et de leurs précurseurs, il convient de faire une distinction entre la première année d'exploitation et les suivantes (voir le Tableau 3) :

- **Des intervalles d'analyse plus élevés sont recommandés durant la première année d'exploitation.** Cela permet d'évaluer le « fonctionnement habituel » de l'ozonation et de déterminer la formation spécifique de bromates et de nitrosamines. Une phase test avec différentes doses d'ozone spécifiques doit être convenue avec l'autorité cantonale.

[14] Langer, M. und Kienle, C. (2016). Effektmessung: Ökotoxikologische Biotests zur Beurteilung der Abwasserbehandlung. 79e/80e cours de perfectionnement VSA: Micropolluants, Emmetten.

- **La fréquence d'analyse des paramètres peut être réduite à partir de la deuxième année,** à condition que les eaux usées aient été considérées comme non-suspectes la première année. Si les concentrations de bromures sont considérées comme non-suspectes à l'entrée de l'ozonation (c'est-à-dire < 100 µg/l dans les échantillons composites de 48h), aucune mesure de bromates supplémentaire ne doit être effectuée en sortie du traitement complémentaire, sauf avec des eaux usées affichant un taux de formation de bromates élevé (voir [15]). Si les concentrations de bromates sont élevées en sortie, il est recommandé de procéder à une détection supplémentaire de la concentration de bromates en entrée (afin de calculer la concentration de bromates formés).

7.1.2 STEP possédant un bassin versant plus complexe et/ou pouvant avoir des influences (industrielles ou artisanales) problématiques sur l'ozonation

En cas de bassin versant complexe et/ou pouvant avoir des influences (industrielles ou artisanales) problématiques sur l'ozonation, le concept de surveillance doit être étendu. Il convient d'examiner un éventuel recours à la plateforme « Techniques de traitement des micropolluants » (et éventuellement d'autres expertes et experts compétents).

Le cas échéant, l'exécution régulière de biotests est recommandée. Par ailleurs, d'autres sous-produits d'oxydation parfois problématiques, ainsi que leurs précurseurs, peuvent être intégrés dans le programme d'analyse. Les « vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » peuvent être appliquées pour évaluer de manière ciblée un déversement potentiellement problématique. Si des anomalies surviennent à plusieurs reprises, les « vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » doivent être réitérées après quelques années.

[15] VSA (2021). Recommandation « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation » (Version 2). www.micropoll.ch

Tableau 3. Aperçu des paramètres recommandés (devant être mesurés à l'entrée de l'ozonation et à la sortie du traitement complémentaire) et des intervalles de mesure recommandés. Ce faisant, une distinction est faite entre (i) la première année après la mise en service de l'ozonation ou des modifications significatives de la composition des eaux usées et (ii) à partir de la deuxième année après la mise en service de l'ozonation ou de la dernière modification significative constatée de la composition des eaux usées.

Paramètres (de surveillance) de l'ozonation	**Fréquence d'analyse**	
Après la mise en service de l'ozonation	1ère année (évaluation du « fonctionnement habituel »)	Dès 2e année (si analyses non-problématiques l'année précédente)
En cas de modification significative de la composition des eaux usées	1ère année	Dès 2e année (si changement non-problématique)
Analyses en entrée d'ozonation[16]		
Bromures	Identique à la fréquence d'analyse des composés traces organiques selon l'OEaux, annexe 3.1, ch. 41	Identique à la fréquence d'analyse des composés traces organiques : réduire la fréquence selon l'OEaux, annexe 3.1, ch. 41
Bromates	Si concentrations élevées en sortie de traitement complémentaire, en concertation avec l'autorité cantonale	Si concentrations élevées en sortie de traitement complémentaire, en concertation avec l'autorité cantonale
Nitrosamines	8 à 12 fois par an	En concertation avec l'autorité cantonale
Analyses en sortie du traitement complémentaire		
Bromates	8 à 12 fois par an	• Si bromures ≥ 100 µg/l, fréquence identique à 1ère année • Si bromures < 100 µg/l, aucune mesure nécessaire
Nitrosamines		En concertation avec l'autorité cantonale
Analyses en entrée/sortie d'ozonation et en sortie de traitement complémentaire		
Biotests	• Exécution régulière dans les STEP ayant un bassin versant complexe et/ou pouvoir avoir des influences industrielles ou artisanales problématiques sur l'ozonation. • Facultatives dans STEP possédant un bassin versant simple et non problématique.	

[16] Un échantillonnage en entrée d'ozonation est préférable. Si celui-ci n'est pas disponible, il est possible d'utiliser un échantillonneur en entrée de STEP.

7.2 Adaptation de la surveillance et détermination de la marche à suivre

7.2.1 Eaux usées non-suspectes : ozonation toujours appropriée

Si aucune modification significative de la composition des eaux usées n'a été constatée dans le cadre de la surveillance et si aucun sous-produit d'oxydation problématique n'est formé en quantités importantes, l'ozonation reste appropriée et permettra une protection efficace des eaux (Figure 2). Dans ce cas, aucune vérification ou mesure approfondie ou mesure n'est nécessaire. La surveillance de l'ozonation doit être réalisée dans le cadre habituel.

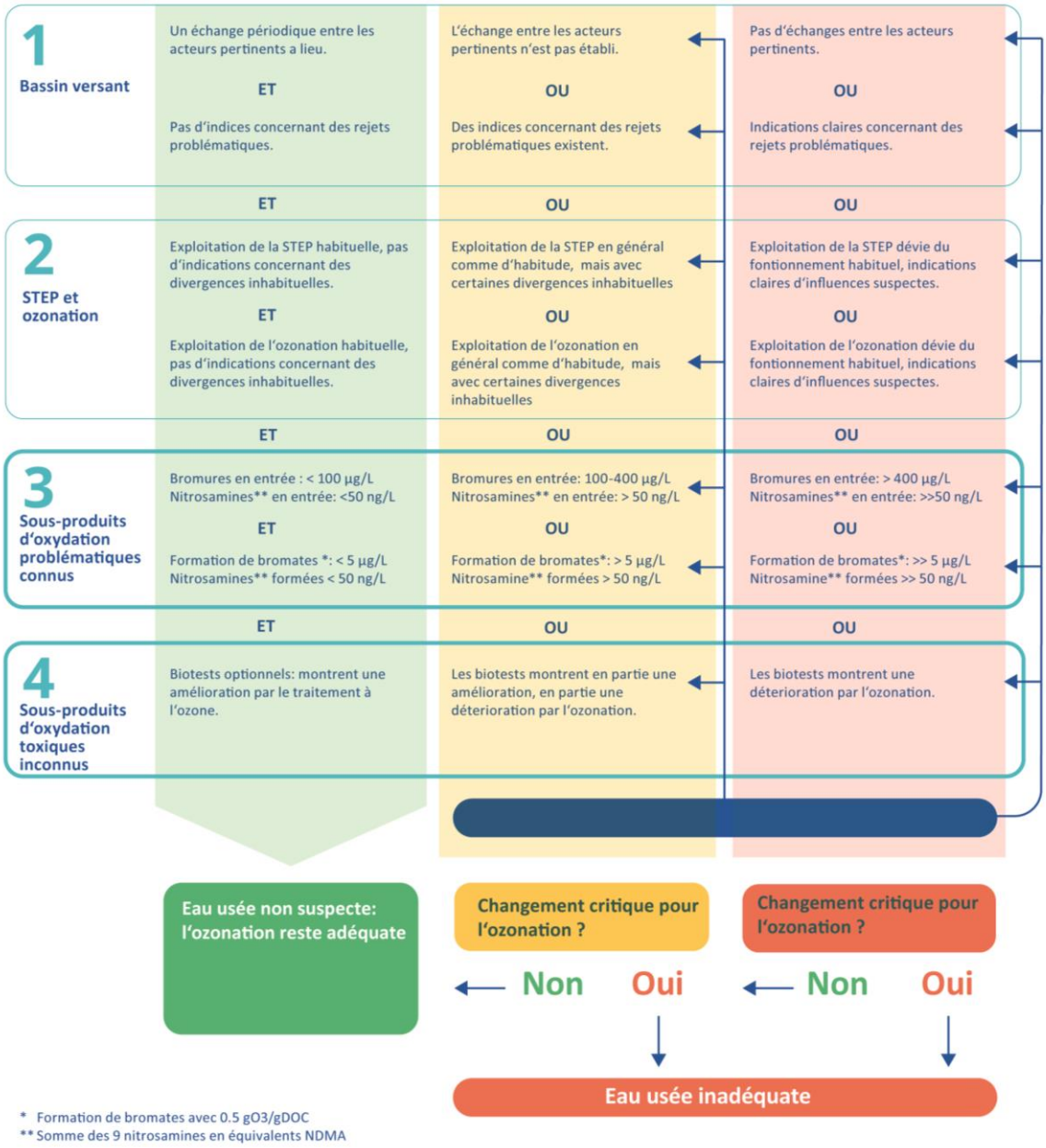

Figure 2. Paramètres de surveillance et leur évaluation.

7.2.2 Modifications de la composition des eaux usées pouvant entrainer des effets sur l'ozonation

Il peut arriver qu'une ou plusieurs indications (p. ex. modifications connues dans le bassin versant, informations issues de l'analyse des données d'exploitation de la STEP) révèlent une modification de la composition des eaux usées (classée en « jaune » ou « rouge » dans la Figure 2). Dans de telles situations, il convient de vérifier si les effets sur l'ozonation sont critiques. Cela peut être fait grâce à une exécution répétée et plus intensive de certaines vérifications (p. ex. mesure plus régulière de bromures, détermination du taux de formation

de bromates ou réalisation de biotests) ou conduire à des analyses complémentaires (p. ex. détermination de l'exposition à l'ozone et aux radicaux OH en laboratoire). La modification de la composition des eaux usées est critique, lorsque des sous-produits d'oxydation indésirables (p. ex. bromate, nitrosamines) sont formés en quantité excessive ou lorsque la toxicité engendrée par le traitement à l'ozone augmente. La ou les cause(s) doivent être identifiée(s) et d'éventuelles mesures envisagées. Vous trouverez une liste des propositions de mesures dans l'Annexe 3 : Propositions de mesures possibles. Des mesures concrètes doivent toutefois être élaborées au cas par cas, en concertation avec l'autorité compétente et en tenant compte des autres acteurs concernés. L'objectif est de garantir une protection efficace des eaux à long terme.

Pour contrôler les mesures mises en œuvre, le monitoring notamment des sous-produits d'oxydation problématiques et de leurs précurseurs doit être intensifiée pendant environ un an (voir Tableau 3) :

- **La première année après une modification critique de la composition des eaux usées**, des intervalles d'analyse accrus sont recommandés pour les bromures, bromates, nitrosamines et d'éventuels autres paramètres à définir au cas par cas.
- **À partir de la deuxième année après la dernière modification constatée de la composition des eaux usées**, la fréquence d'analyse des paramètres peut être réduite, à condition que les eaux usées aient été considérées comme non-suspectes la première année.

8 ÉCHANTILLONNAGE ET REPRÉSENTATIVITÉ

Un prélèvement de plus de 24 heures (pour les paramètres d'exploitation de la STEP) et de plus de 48 heures (pour les analyses coïncidant avec le contrôle du taux d'épuration) sont suffisants, car il s'agit de l'exploitation quotidienne et plusieurs échantillons sont analysés tout au long de l'année (voir le Tableau 3). Concernant les paramètres pouvant être saisis en ligne, l'avantage de la résolution temporelle doit être exploité. De manière générale, il faut veiller à ce que l'échantillonnage soit représentatif du bassin versant et prenne en compte les déversements pertinents (p. ex. prélèvements effectués différents jours de la semaine, facteurs saisonniers).

Lors d'un changement de composition des eaux usées, il est recommandé d'effectuer un prélèvement sur une période prolongée, car les déversements industriels et artisanaux ont souvent lieu de manière intermittente. Cela doit être déterminé au cas par cas en concertation avec l'autorité cantonale chargée de l'exécution.

9 COLLECTE CENTRALISÉE DES DONNÉES

Les expériences et données en lien avec la mise en œuvre de cette recommandation sont relevées sous forme anonymisée par la plateforme VSA « Techniques de traitement des micropolluants » et mises à disposition régulièrement. Les résultats peuvent ainsi être quotidiennement améliorés et la procédure décrite dans ce document peut être remaniée en cas de besoin.

10 RENSEIGNEMENT EN CAS DE QUESTIONS ET D'INCERTITUDES

En cas de questions et d'incertitudes sur les présentes vérifications, des situations complexes ou des données difficiles à interpréter, la plateforme VSA « Techniques de traitement des micropolluants » peut être consultée.

11 ANNEXES

11.1 Annexe 1 : Illustration des processus de communication

Ci-dessous, deux exemples permettent de mieux comprendre les processus de communication décrits au chapitre 6.2.1 et comment ils doivent être intégrés dans le processus décisionnel.

Situation initiale

Un changement de composition des eaux usées entrainant des effets critiques sur l'ozonation survient dans une STEP. Dans un premier cas, ce changement s'explique par une modification des activités pertinentes pour les eaux usées dans une entreprise existante (voir la « Situation 1 » décrite ci-après). Dans un second cas, cela s'explique par l'implantation d'une nouvelle entreprise (voir la « Situation 2 » décrite ci-après).

Situation 1 : Modification d'activités pertinentes pour les eaux usées dans une industrie existante affectant la composition des eaux usées

Si une entreprise possédant une autorisation de déversement valide modifie un procédé pertinent pour les eaux usées, les effets sur la composition des eaux usées de la STEP et l'ozonation doivent être vérifiés le plus tôt possible. Théoriquement, toute modification de procédés entrainant une modification de la quantité ou de la composition des eaux usées est soumise à autorisation au sens de la LEaux. Dans tous les cas, ces modifications doivent être communiquées à l'autorité d'exécution compétente et, idéalement, à la STEP concernée. De cette façon, il est éventuellement possible de déterminer à l'avance l'influence sur l'ozonation (p. ex. à l'aide des « vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation[17] »). Si nécessaire, des mesures appropriées peuvent être prises de manière anticipée (p. ex. adaptation de l'autorisation de déversement existante de l'industrie/artisanat concerné).

Situation 2 : Implantation d'une nouvelle entreprise dans le bassin versant de la STEP

Les nouvelles entreprises ne possèdent aucune autorisation de déversement préalable ou connaissances sur la composition spécifique de leurs eaux usées. Les effets possibles sur l'ozonation doivent être clarifiés dans le cadre du contrôle des effets sur la STEP. Il est difficile de réaliser cette étape en amont, car la composition des eaux usées résultante doit être évaluée (p.ex. en se basant sur les expériences faites avec des entreprises similaires). Dans ce contexte, les vérifications et les estimations nécessaires doivent fait l'objet de discussions précoces avec les autorités d'exécution cantonales. Il peut également être utile d'intégrer la plateforme « Techniques de traitement des micropolluants (et éventuellement d'autres expertes et experts compétents en la matière). Lors de la demande de permis de construire, l'industrie doit indiquer si des précurseurs problématiques (p. ex. bromures) sont à prévoir dans les eaux usées. Dans l'autorisation d'exploitation, l'autorité peut obliger l'entreprise à signaler les changements d'exploitation (p. ex. l'utilisation d'autres produits chimiques dans les processus). Une autre possibilité est une autorisation de déversement sous conditions (avec référence spécifique aux substances critiques) de telle manière que, si des problèmes survenaient au niveau de l'ozonation en raison des eaux industrielles, des mesures devraient être prises. En règle générale, l'accent est mis sur les grandes entreprises dont les charges d'eaux usées sont élevées, car la dilution avec le reste des eaux usées communales est faible.

[17] VSA (2021). Recommandation « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation ». Version 2. www.micropoll.ch

11.2 Annexe 2 : Détection des influences industrielles dans les STEP et des impacts possibles sur l'ozonation

Tableau A1. Observations courantes à la STEP et leurs causes (extrait de [18] - liste non exhaustive). Les possibles impacts sur l'ozonation peuvent être consultés sous le lien suivant.

Observations	Cause(s)	Secteur(s) pouvant être concerné(s)
Pics de charge de substances organiques	• Substances organiques issues de la production	• Transformation de denrées alimentaires (p. ex. fromageries, transforma de fruits et de légumes) • Industrie chimique et pharmaceutique (p. ex. éthanol pour les extractions ; solutions nutritives pour les processus biotechnologiques)
Charges accrues d'azote en entrée	• Brunissement (nitrite) • Transformation du lait et de la viande (ammonium) • Saumure utilisée pour transformer la viande (nitrite)	• Transformation de denrées alimentaires • Traitement de surfaces métalliques
Charges accrues de sel (p. ex. bromure, chlorure) en entrée	• Proviennent des agents d'exploitation (p. ex. traitement physico-chimique de déchets spéciaux) • Groupe partant lors des processus de synthèse dans l'industrie chimique et pharmaceutique	• Entreprises d'élimination (incinération des ordures ménagères, valorisation des déchets spéciaux, décharge) • Industrie chimique et pharmaceutique
Variations de pH (pics) en entrée de STEP	• Processus de nettoyage • Neutralisation erronée des charges	• Transformation de denrées alimentaires • Industrie chimique et pharmaceutique
Valeurs accrues de phosphore en sortie	• Pics de phosphore lors de l'utilisation d'acide phosphorique pour le nettoyage • Les phosphonates ne sont pas facilement précipitables (p. ex. avec $FeCl_3$).	• Transformation de denrées alimentaires • Traitement physico-chimique de déchets spéciaux liquides
Formation de mousse dans la biologie	• Processus de nettoyage (tensioactifs) • Désencollage (agents d'encollage – p. ex. alcool polyvinylique – difficilement éliminables notamment à basses températures) • Rejet d'émulseurs	• Finissage de textiles • Production/utilisation de substances tensio-actives
Teneur accrue de matières solides en entrée	• Transformation de fruits et de légumes, abattoirs (sang en cas d'élimination incorrecte) • Traitement mécanique de métaux • Cellulose issue de la transformation de carton/papier	• Transformation de denrées alimentaires • Métallurgie • Fabrication/transformation de papier/carton

[18] Wunderlin, P., Gulde, R. (2021), *Apports de substances de l'industrie et de l'artisanat dans les eaux*. Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Glattbrugg

Exemple 1 : Interprétation des charges d'entrée de STEP à l'aide d'une courbe de fluctuation hebdomadaire

La Figure A1 montre une fluctuation hebdomadaire de charge de DCO à l'entrée d'une STEP. Dans cet exemple, la charge était beaucoup plus faible le dimanche que pendant la semaine, avec des pics le mardi et le mercredi. Cela s'explique par le fait qu'une industrie avait déversé ses eaux usées cette semaine-là, principalement le mardi et le mercredi. La composition précise des eaux usées de cette entreprise peut fournir des indications importantes pour l'ozonation. L'étape suivante a permis d'identifier l'entreprise et d'étudier d'autres composants dans ses eaux usées. Autre facteur important pour l'échantillonnage : les prélèvements pour le monitoring basé sur des paramètres doivent être réalisés les jours où la charge est élevée.

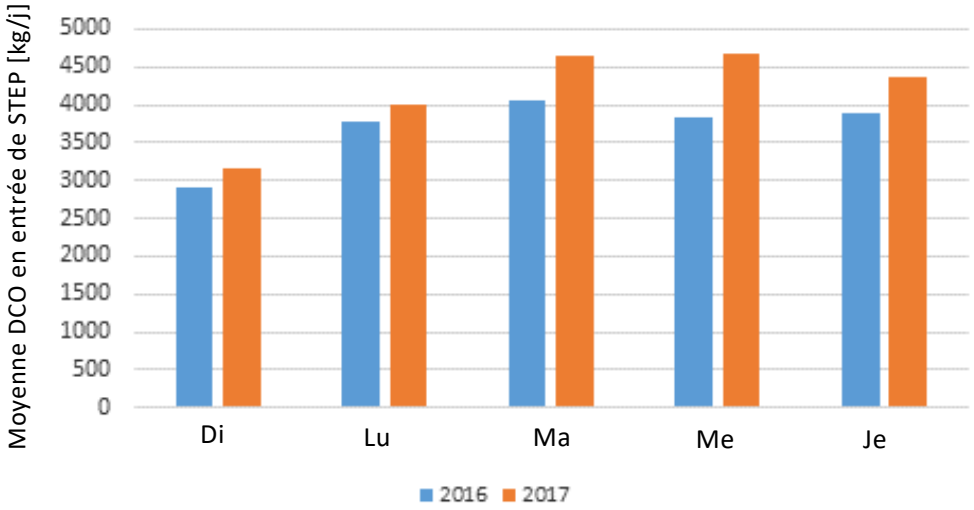

Figure A1. Fluctuation hebdomadaire des charges de DCO en entrée (source : E. Hungerbühler, HBT)

Outre la fluctuation hebdomadaire, les variations annuelles permettent aussi de déduire les influences industrielles. La Figure A2 représente les concentrations de DCO en sortie de STEP. Elles ont été déterminées numériquement à l'aide des valeurs de MES en sortie, en supposant que 1 mg de MES correspond à env. 0.85 mg de DCO (avec une précipitation simultanée du phosphore). Les données montrent l'influence d'une entreprise affichant des charges de DCO élevées. Des phases comportant des valeurs de DCO relativement faibles en sortie sont dues à des interruptions de production prolongées pendant les vacances d'été et de Noël (marquées en rouge dans la Figure A2). Des vérifications approfondies dans cette entreprise concernant les substances utilisées peuvent fournir d'importantes indications pour l'ozonation.

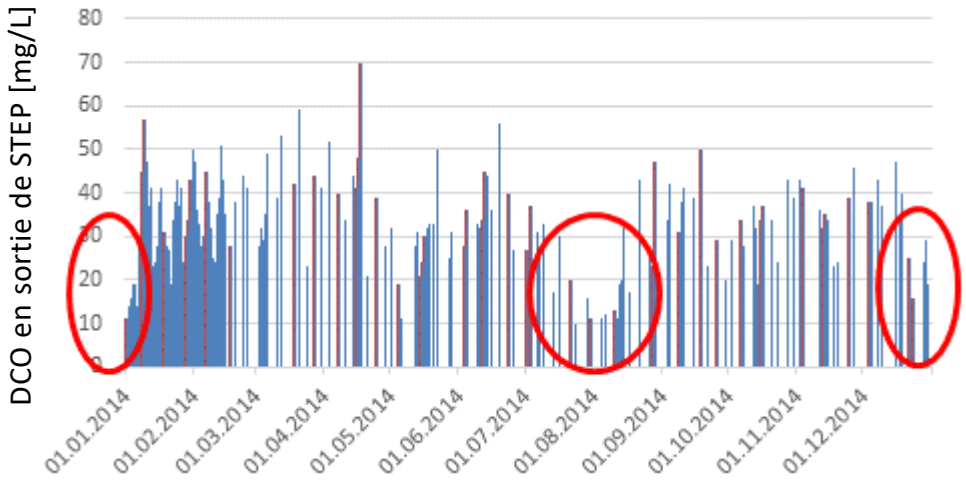

Figure A2. Courbes de variation annuelles des concentrations de DCO en sortie de STEP. Les interruptions de production prolongées sont marquées en rouge (source : E. Hungerbühler, HBT)

Exemple 2 : Charge des STEP comparée aux valeurs typiques par habitant

Des paramètres globaux de STEP tels que la DCO, l'azote total ou le phosphore total fournissent des informations sur les activités industrielles. La charge d'entrée de STEP peut ainsi être comparée à des équivalents-habitants typiques[19] et extrapolée par rapport au nombre de personnes raccordées. Idéalement, ces charges extrapolées donnent les mêmes équivalents-habitants. Des écarts importants vers le haut indiquent des conditions spécifiques. Dans la Figure A3 des charges en DCO accrues à l'entrée de la STEP dues à un déversement industriel sont visibles durant toute l'année et plus spécifiquement au mois de novembre.

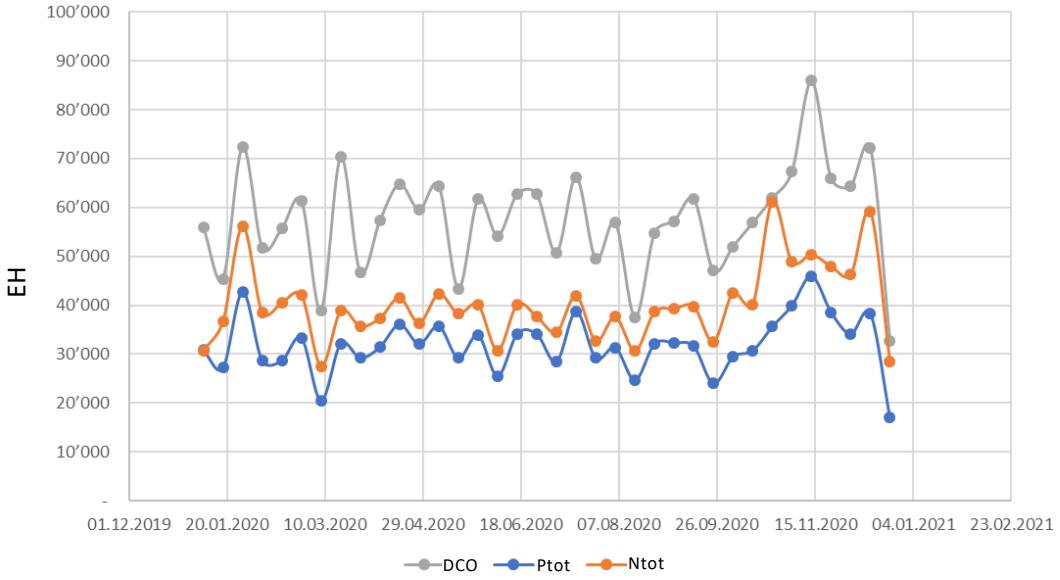

Figure A3. Courbes annuelles d'une STEP communale avec des déversements industriels (source des données : AIB)

Le même exemple est visible dans la Figure A4. Les charges annuelles en entrée de STEP de DCO, d'ammonium et de phosphore total sont converties en équivalents-habitants. Il apparait que les valeurs de DCO extrapolées en équivalents-habitants ont tendance à être plus élevées que celles de l'ammonium et du phosphore total. Ces écarts révèlent la présence d'importants rejets industriels de charges de carbone.

[19] Les valeurs typiques de 85% des charges d'entrée de STEP pour les eaux usées communales sont les suivantes : 120 g DCO/EH/jour, 11 g N_{tot}/EH/jour, 1.8 g P_{tot}/EH/jour

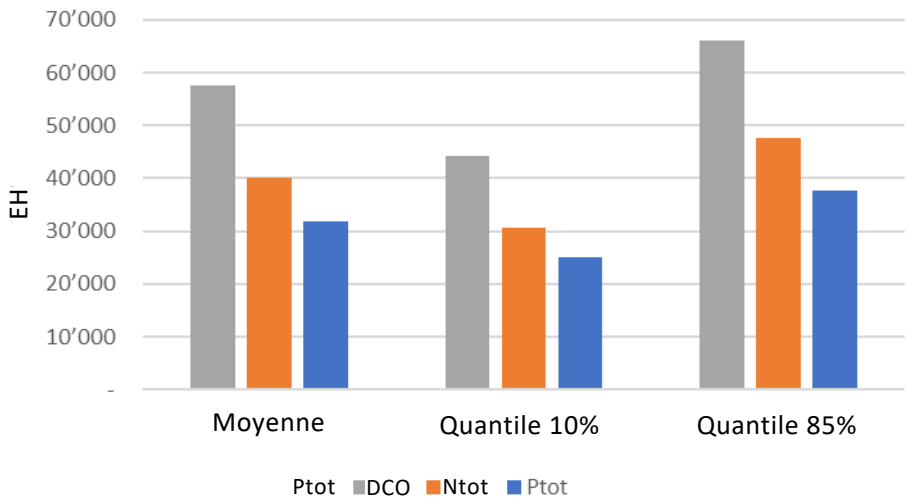

Figure A4. Charges annuelles en entrée de STEP avec une charge accrue de carbone (source des données: AIB)

Exemple 3 : rapport entre le COT, le DCO et le COD

La Figure A5 représente les concentrations en entrée de COT et DCO entre le 1.1.2020 et le 1.1.2021, ainsi que les concentrations en sortie de COD. Le bassin versant de cette STEP est relativement industriel.

Les COT, DCO et COD avaient légèrement reculé début 2020, sans doute en raison de la pandémie de coronavirus. Sur l'ensemble de l'année, les concentrations en entrée de COT (orange) et DCO (bleu foncé) ont eu tendance à augmenter, tandis que les concentrations en sortie de COD (bleu clair) ont plutôt diminué. La cause de ces tendances contradictoires n'est pas claire. Il apparait toutefois que la part de DCO difficilement biodégradable ne peut pas être déterminée dans ce cas via les mesures de DCO et COT en entrée de STEP, car les concentrations en DCO/COT en entrée ne présentent pas d'anomalie quant à la proportion de DCO difficilement dégradable. Dans cet exemple, l'influence de l'industrie n'est visible qu'en sortie seulement. Une mesure du COD en sortie est donc indispensable. Dans le cas présent, les mesures de COD ont quasiment doublé de 2019 à 2020, afin de mieux comprendre l'influence des déversements industriels.

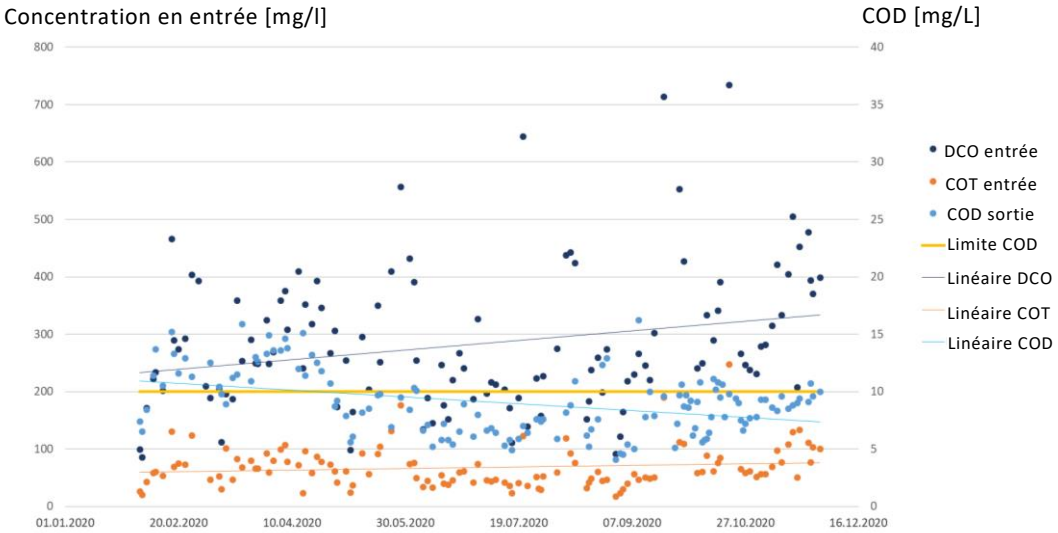

Figure A5. Les concentrations en entrée de DCO et COT et les concentrations en sortie de COD d'une STEP avec un bassin versant fortement industriel (source : K. Biermann, AVG)

Exemple 4 : Interprétation des analyses de boue

Les métaux s'accumulent dans les boues d'épuration. Dans les STEP ayant des déversements correspondants dans le bassin versant, les teneurs en métaux sont donc accrues. Les valeurs limites de l'ORRChim[20] peuvent être utilisées pour classer ces teneurs en métaux.

Le Tableau A2 montre les teneurs en boues d'épuration de six métaux pour cinq STEP. Les teneurs respectives sont exprimées en % de la valeur limite de l'ORRChim. Lorsque les teneurs sont supérieures à la valeur limite de l'ORRChim, elles sont colorées en « rouge ». Lorsqu'elles sont nettement inférieures, elles sont colorées en « vert » (<20 %) ou en « orange » (>20 % et <100 %). Il convient de prendre en compte le fait que la teneur en substances nocives dans les boues peut parfois avoir des causes (géologiques) naturelles.

Tableau A2. Les teneurs en métaux lourds de trois stations d'épuration exprimées en % de la valeur limite de l'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim (source[21]). Le numéro de la STEP correspond à la numérotation dans [21].

Valeur limite (mg/kg de substance sèche)	5	60	600	20	80	500
STEP n°	**Cd**	**Co**	**Cu**	**Mo**	**Ni**	**Pb**
1	20%	33.3%	46.2%	25%	28.8%	5.8%
2	40%	11.7%	65.2%	45%	30%	4.6%
6	20%	13.3%	64.3%	30%	18.8%	8%
63	40%	8.3%	85.8%	40%	33.8%	5.8%
64	120%	26.7%	64.3%	25%	53.8%	16.2%

L'Office des déchets, des eaux, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zurich relève chaque année l'indice de substances nocives[22]. Pour ce faire, la charge de métaux (lourds) est relevée une à quatre fois par an. Un indice de substances nocives est ensuite calculé sur la base de ces résultats. Ces mesures régulières permettent de suivre des tendances à long terme et d'identifier des sources et des bassins versants suspects.

11.3 Annexe 3 : Propositions de mesures possibles

Des mesures concrètes doivent être élaborées au cas par cas, en concertation avec l'autorité cantonale en intégrant les autres acteurs concernés (p. ex. industrie/artisanat responsable). L'objectif est de garantir une protection efficace des eaux à long terme.

<u>Mesures immédiates</u> possibles (utilisées lorsque les effets de l'ozonation sont considérés comme extrêmement critiques)

- Mettre hors service l'ozonation en concertation avec l'autorité cantonale, identifier la ou les cause(s) et prendre des mesures.
- Si des sous-produits d'oxydation problématiques sont présents en quantités importantes dans l'effluent de la STEP : informer les usines de production d'eau potable situées en aval et prendre d'éventuelles mesures supplémentaires (p. ex. arrêter temporairement le captage d'eau potable).

Prochaines étapes :

- La cause a pu être identifiée et éliminée de manière durable : l'ozonation est alors remise en service.

[20] Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim) du 18 mai 2005, 814.81
[21] Vriens, B. et al. (2017): Quantification of Element Fluxes in Wastewaters: A Nationwide Survey in Switzerland. Environmental Science and Techno-logy 51 (19), 10 943–10 953
[22] Épuration des eaux usées en chiffres (2019). Office des déchets, des eaux, de l'énergie et de l'air du canton de Zurich. https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesser-schutz/abwasserreinigungsanlagen-ara/abwasser_in_zahlen_2019.pdf [version 19.5.2021]

- La cause n'a pas pu être identifiée ou éliminée de manière durable : des mesures à moyen/long terme à la source ou à la STEP sont nécessaires (voir ci-dessous).

<u>Mesures à la source à moyen/long terme</u> possibles

- Prétraitement approprié des eaux usées industrielles avant le rejet dans les égouts ou apport des eaux usées à la STEP à l'aide d'une conduite séparée pour un traitement spécifique avant le rejet dans les eaux.
- Directive cantonale de limitation des charges et/ou valeurs de déversements pour les précurseurs problématiques connus.
- Pas d'élimination des eaux industrielles via le réseau d'égouts publics : p. ex. rejet vers une autre STEP sans ozonation, élimination des eaux industrielles comme déchets spéciaux (en s'assurant que ceux-ci soient traités/éliminés sans porter préjudice au fonctionnement d'une autre STEP, art. 12 LEaux), rejet direct dans un cours d'eau (en respectant les exigences de l'OEaux, annexe 3.2).
- Examiner d'autres mesures au niveau des entreprises, p.ex. optimisation des processus industriels produisant cette eaux usées, remplacement des substances problématiques dans le processus par des produits alternatifs, etc.

Mesures possibles au niveau de la <u>STEP à moyen/long terme</u>

- Optimisations industrielles à la STEP : p. ex. stratégie de réglage BEAR[23], dosage d'ozone en plusieurs étapes[24], dosage supplémentaire de peroxyde d'hydrogène permettant de réduire la formation de bromates[25] (la dernière mesure n'ayant pas encore été testée à l'échelle industrielle).
- Réduire temporairement la dose d'ozone.
- Mesure ultime : mettre l'ozonation hors service et la remplacer par un procédé de traitement au charbon actif ou - si la nouvelle composition des eaux usées le permet - la compléter par un autre procédé (p. ex. à base de charbon actif) (sans droit à une indemnisation des coûts d'investissement supplémentaires) Ainsi la filtration sur sable existante peut être transformée en une filtration sur charbon actif en grains. Le responsable supporte les coûts générés selon l'art. 31 LEaux.

Pour toutes ces mesures, les exigences légales de LEaux et l'OEaux doivent être respectées.

[23] Schachtler, M., Hubaux, N., (2016) – BEAR – Innovative Regelstrategie der Ozonung. Aqua & Gas 5/2016: 84 – 93.
[24] Hubaux, N., Schachtler, M. (2016) – Mehrstufiger Ozoneintrag - LOD-Konzept. Reduzierung des Ozonverbrauchs bei gleichbleibender Elimination der Mikroverunreinigungen. Aqua & Gas 11/2016: 50 – 56.
[25] Soltermann, F., Abegglen, Ch., Tschui, M., Götz, C., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2019). Verminderung der Bromatbildung – Mögliche Strategien zur Minimierung der Bromat-Bildung bei der Abwasserbehandlung mit Ozon. Aqua & Gas 1/2019: 14-21.