

CARNET DE CHLORATION

version pour une seule file

Introduction

Le fonctionnement des stations d'épuration à boues activées est parfois fortement compromis par le développement excessif de bactéries filamenteuses qui occasionnent un moussage important sur les bassins et/ou un gonflement des boues appelé plus communément bulking. Dans ces cas de dysfonctionnement, un traitement au chlore peut être envisagé afin d'endiguer ces phénomènes. La chloration bien que souvent pratiquée reste un traitement qui n'est pas toujours correctement maîtrisé et le risque majeur de cette technique est de détruire toute ou partie de la faune épuratoire de la station. Afin de garder une trace aussi précise que possible des interventions réalisées lors d'une chloration et apporter quelques points de précision sur cette technique nous avons établi ce carnet de chloration ce qui nous l'espérons permettra aussi d'améliorer les connaissances dans ce domaine,

Principe de la chloration

La chloration a pour but l'élimination ou du moins l'affaiblissement de la population des bactéries filamenteuses par rapport à la population des bactéries floculantes. On compte sur la plus grande surface d'échange que présente les filamenteuses pour les toucher plus spécifiquement. L'unité de dosage de la chloration est le g de chlore (Cl_2) par kg de MVS et par jour. Après avoir estimé la masse de boue à traiter sur l'ensemble de la station, on calcule la quantité de chlore qui sera nécessaire au traitement. Il est important que la chloration bénéficie d'une continuité dans le temps. La période de traitement est au minimum de l'ordre d'une dizaine de jours. Il est donc primordial de s'assurer d'un approvisionnement en chlore suffisant pour éviter les ruptures de traitement. Une rupture d'un jour dans le traitement peut venir réduire nettement les effets obtenus durant les premiers jours (même s'ils ne sont pas encore visibles) et donc entraîner un gâchis de chlore et donc d'argent.

Les taux de traitement (g de chlore actif /kg MVS.jour)

Il n'y a pas de taux établi. Il est fonction de nombreux facteurs et notamment du type de filament auquel on doit faire face. Il semble de bonne pratique de démarrer une chloration par des taux modérés et de les augmenter par la suite si aucun signe conséquent n'est visible au bout de trois jours complets à cette dose. Dans l'état actuel des connaissances un taux de départ de **3,5 à 4 g de chlore par kg de MVS** et par jour semble acceptable dans la mesure où celui-ci ne vient pas trop contrarier la nitrification et de préférence 3 g de chlore par kg de MVS et par jour en hivers. Ce taux peut être revu à la baisse dans le cas de bulking léger et lorsque la perte des boues peut être évitée. Dans tous les cas, il y a un intérêt certain à démarrer une chloration après avoir extrait un maximum de boue (quand c'est possible...notamment lorsque le traitement des boues n'est pas trop limité par le bulking) de façon à minimiser la quantité de chlore à utiliser. Une valeur limite à ne pas dépasser est la concentration en chlore au point d'injection. La valeur fixée est de 35 mg/L. Si cette valeur est dépassée, il faut envisager dans ce cas une multiplication du nombre de point d'injection.

Point de chloration

Le choix du point d'injection est particulièrement important. Le chlore étant un oxydant puissant, il est rapidement consommé par toute matière susceptible d'être oxydée (matière organique ...). Il doit atteindre le plus rapidement possible les filaments sans être consommé par ailleurs. De plus ce point devra être une zone de passage obligé de toutes les boues du système. En tenant compte de ces éléments fondamentaux, l'idéal est un piquage sur le tuyau de recirculation à l'amont d'un coude. L'eau de Javel peut être aussi amenée par un tuyau à la base des pompes. La recirculation est particulièrement intéressante pour trois raisons majeures:

- 1) c'est un point de passage obligé de toutes les boues du système.
- 2) il est éloigné de l'arrivée d'eau brute (qui consumerait une grande partie du chlore actif injecté).
- 3) la turbulence engendrée par le pompage permet une bonne diffusion du chlore dans tout le volume et donc un bon contact filament-chlore.

Les autres points de chloration possibles sont :

- directement dans le bassin d'aération
- sur une conduite pompant dans le bassin d'aération et rejetant dans ce même bassin.

Ces points de dosage ont comme inconvénient majeur le risque important de court-circuit et une maîtrise plus aléatoire du taux de traitement au point d'injection (surtout dans le cas de l'injection directe dans le bassin d'aération).

Tous les autres points sont à exclure et en particulier celui qui serait directement dans la conduite d'arrivée de l'effluent. Le chlore est extrêmement réactif et la matière organique présente le capterait avant même qu'il puisse être en contact avec les filaments.

Remarque sur les réactions parasites chlore-matière organique.

L'élément très réactif avec le chlore qui risque le plus d'être rencontré sur les stations d'épuration est l'ammoniaque. La réaction avec le chlore est immédiate et forme des monochloramines. Celles-ci ont un pouvoir oxydant beaucoup plus faible que le chlore actif mais ont un temps de persistance plus long que celui-ci ; Pour un rapport massique $Cl_2/N-NH_4 \leq 5$ tout le chlore est transformé en chloramine. Il convient donc de connaître la concentration d'ammoniaque au point de chloration afin d'évaluer l'efficacité du traitement que l'on peut obtenir. La chloration s'adresse de manière simple aux boues activées assurant une nitrification quasi complète.

L'autre élément réactif est NO_2 . La réaction est stochiométrique ce qui fait que 5,1 mg de Cl_2 réagissent avec 1 mg de $N-NO_2$ pour former NO_3 et HCl . Dans ce cas le chlore n'est plus disponible du tout pour l'attaque des filaments. Les nitrites sont souvent inexistantes. Toutefois il convient de s'en assurer surtout sur des installations industrielles utilisant par exemple l'acide nitrique comme solution de lavage dans certaines étapes du process industriel. Pour ce cas il convient de prévoir la masse de chlore inactivée du fait de la présence des nitrites.

Comment mesurer les effets de la chloration?

Suivi macroscopique

L'indice de boue

1° Le but en cas de bulking est de ramener l'indice de boue à une valeur correcte d'exploitation en aération prolongée soit **Ib < 200 ml/g** mais pour un traitement efficace, il convient de prolonger la chloration jusqu'à un indice guère supérieur à 100 ml/g.

2° Si les boues sont constituées de façon majoritaire de bactéries filamenteuses (**Ib > 700 ml/g**), il pourrait être judicieux de marquer un palier de l'ordre d'une semaine en aération prolongée vers 300 à 350 ml/g. De plus, pour les installations traitant l'azote, il s'avérera primordial de ne pas perdre la nitrification. Les bactéries nitrifiantes ont un taux de croissance faible (particulièrement si la température est basse) et leur remise en place si le stock résiduel est faible peut être très longue. Cette remise en place sera d'autant plus longue que la population nitrifiante aura été touchée et que la température sera froide. Dans le cas des stations nitrifiantes, il est donc recommandé de suivre aussi le traitement de l'azote par des mesures ponctuelles de l'ammoniaque en sortie de station pour ajuster au mieux la dose de chlore à injecter tout en préservant au moins partiellement la nitrification.

Mousse sur les bassins

Dans le cas où la chloration est pratiquée à la suite d'un problème de mousse biologique, c'est l'appréciation de la couche de mousse en surface des bassins qui sera le paramètre à suivre.

Départ de MES en sortie

Une autre manifestation de l'action du chlore sur les boues est l'augmentation au bout de plusieurs jours de traitement, de la concentration des MES en sortie. Cette perte de MES est normale si elle correspond à la perte de fragments issus de filaments cassés par l'effet du chlore. S'il s'agit d'une défloculation cela signifie que la dose au point d'injection est trop importante. Il convient alors de multiplier les points d'injection.

Changement de couleur de la boue

La dernière manifestation est l'apparition d'une couleur blanchâtre et parfois même de mousses (lyses cellulaire? perte du traitement des détergents?). Dans ce cas le taux de chloration a sans doute été trop fort. Il convient alors de s'assurer que la faune des protozoaires n'a pas subi trop de dommages et d'arrêter le traitement si nécessaire. (défloculation importante de la boue). La multiplication du nombre de point d'injection est là aussi nécessaire.

Suivi microscopique

Si l'on dispose d'un microscope suffisamment performant (cf. : annexe observation microscopique), les informations obtenues par ce moyen d'observation peuvent se révéler très intéressantes. Le suivi de la faune des protozoaires est un bon indicateur de l'impact du traitement. On peut suivre aussi l'attaque des filaments par le chlore (plage blanche pour les filaments à gaines, fragments courts pour les autres) ainsi que l'attaque subie par les grains de floes (défloculation). Toutes ces informations sont autant d'éléments qui permettent de révéler des problèmes ou un début d'efficacité et de régler au mieux le mode et le taux de traitement au chlore.

Indications pratiques

Sécurité

Le chlore est particulièrement agressif pour les muqueuses. Le port de lunettes et de gants est fortement recommandé pour toute manipulation relative au chlore.

Les mesures

La mesure du débit de la pompe à chlore doit se faire alors que le tuyau est en place au point d'injection pour prendre en compte les pertes de charges qui parfois ne sont pas négligeables. On peut mesurer le débit dans ce cas par disparition du chlore dans une éprouvette. Remarque : pour certains types de pompes, le débit peut varier aussi avec la baisse du niveau liquide dans le container. En raison de toutes ces variations, il sera intéressant de suivre la consommation globale journalière par repérage du niveau dans la cuve de stockage.

Titre de l'eau de Javel

L'eau de Javel est un produit instable qui perd rapidement de son efficacité dans le temps et à la chaleur. Sortie d'usine, l'eau de Javel affiche un titre chlorométrique compris entre 47° et 50 °. (1° chloro = 3,17 g/L de chlore actif) soit environ 150 g/L de chlore actif. La diminution immanquable du titre de l'eau de Javel dans les conditions optimales de stockage est de 1° par semaine durant les 3 premiers mois. Cette diminution tend vers 0 et le titre se stabilise autour de 30° et atteint la valeur de 25 ° au bout d'un an. Cette diminution est d'autant plus forte que le produit est stocké à la lumière et à la chaleur. Il convient donc de titrer l'eau de Javel le plus régulièrement possible et au moins avant chaque mise en service d'un nouveau container.

On distingue le chlore actif ou chlore libre (actif et disponible pour l'oxydation) du chlore lié (par exemple. chloramine,...). Les méthodes de mesures classiques permettent de doser le chlore libre (ou chlore actif) et le chlore total qui prend en compte le chlore lié. C'est bien sûr les méthodes de mesure du chlore libre qui nous intéressent dans notre cas.

PREPARATION ET SUIVI DE LA CHLORATION

Les pages suivantes visent à aider les opérateurs dans la préparation et le suivi de la chloration. De plus, la mémoire écrite des paramètres utilisés pour une chloration sont fondamentaux pour accroître les connaissances dans ce domaine et par la suite améliorer l'efficacité de ce type de traitement.

CHLORATION A LA STATION D'ÉPURATION DE

DATE :

DESCRIPTIF DE LA STATION:

Type de station:

Nombre d'équivalents habitant

Débit journalier reçu :

Charge massique actuelle: kg DBO/kg MVS.j

Indice de boue : $I_b =$ ml/g

Cas particulier

Nutrient	Concentrations		Complémentation dose
	Entrée	Sortie	
Azote N-NO3 N-NH4			
Phosphore			

Schéma général - indication des points de chloration**Point(s) de chloration : description précise.(Schéma)**

Calcul de la masse de boue (M_b) totale du système

Ce tableau va permettre d'évaluer la masse totale de boues contenue dans l'ensemble des bassins. C'est à partir de cette masse et en se fixant le taux de traitement en chlore que l'on va pouvoir estimer la quantité d'eau de Javel que le traitement requerra.

Pour calculer la masse de boues dans le décanteur, on prendra comme concentration en boues entre 75% et 80% de celle de la recirculation.

Bassin	Volume (m^3)	Conc. en boue du bassin ($g.l^{-1}$) ou ($kg.m^{-3}$)	Masse de boue (kg MES)	Masse de boue (kg MVS)
Bassin anaérobiose		$C_{ana} =$		
Bassin anoxie		$C_{anx} =$		
Bassin aération		$C_a =$		
Décanteur * n°I		$0,75 \times C_{r1} =$		
TOTAL = M_b		$MVS/MES =$		

On calculera à partir de la masse de boues obtenue la masse de MVS en multipliant la masse de boues par le taux de minéralisation qui est le rapport MVS/MES . Ce taux est relativement constant pour une station et un type d'effluent donné. Par la suite on parlera donc essentiellement de MVS

* Le volume à prendre en compte est celui qu'occupe les boues (mesure par la hauteur du voile de boue)

Fréquence de passage

La fréquence de passage est le nombre de fois que la masse totale des boues du système passe au point d'injection par jour. Elle se calcule en divisant la masse de boues passant par jour au point d'injection par la masse de boues totale du système. Il y a un intérêt certain à ce que les boues soient traitées le plus souvent possible par jour. Idéalement cette fréquence doit être de 2,5 à 3 ce qui signifie qu'en moyenne les boues passent 2,5 à 3 fois par jour au niveau du point d'injection. Il semble que plus cette fréquence est élevée et plus le traitement est efficace. Une fréquence élevée permet aussi des taux de chloration au point d'injection plus faible ce qui peut être très intéressant dans le cas des stations nitrifiantes. En résumé, il vaut mieux des doses modérées plusieurs fois que de fortes doses en moins de fois. Sur certaines installations industrielles en particulier, le taux de recirculation est faible au regard des volumes des bassins. L'efficacité des chloration est alors faible. On considère en effet qu'il faut au moins dix passages des boues au point d'injection pour obtenir un effet notable. Ce nombre de dix passages n'est parfois atteint qu'au bout d'une vingtaine de jours pour certaines installations. De plus afin d'éviter le surdosage au point d'injection, il est impossible de dépasser un taux de traitement journalier qui peut être trop faible pour avoir un effet notable sur les filaments. C'est le cas des filaments à gaine type 021N, Sphaerotilus... qui requièrent des taux de traitement journaliers importants - 5-6 g de chlore/kg MVS.jour - pour avoir un effet notable.

N° de pompe de recirculation	Débit par pompe Q_p (m^3/h)	Temps de fonctionnement (h/jour)	Volume journalier recirculé $V_j = Q_p \times t$	$C_{bi}^* = [MVS]$ au point d'injection	Fréquence de passage $f = V_j \times C_{bi} / Mb$
1					
2					
3					
TOTAL					

* Remarque : C_{bi} concentration en boue au point d'injection (identique à C_R si la chloration a lieu à la recirculation)

Évaluation de la quantité d'eau de Javel à prévoir pour la chloration

Pour un degré de chlorométrie de 47°-50° on compte **150 g de chlore libre (CL₂) par litre**

On définit la **Dose unitaire (D_u)** comme étant le volume d'eau de Javel du commerce permettant d'obtenir un taux de traitement de **1 g de CL₂/kg de MVS/jour**

On a alors la D_u exprimée en litre d'eau de Javel

$$D_u = \frac{M_b}{150}$$

Avec M_b = la masse de boue du système en kg.

Prévision de la consommation d'eau de Javel

Taux de chlore prévu g Cl ₂ /kg MVS/j (T _{CL2})	Nombre de jour de traitement au taux T _{CL2} (n)	Quantité de chlore à commander en litre (T _{CL2} x n x D _u)
TOTAL		

Calcul prévisionnel du taux de chloration et de la concentration en chlore au point d'injection

Calcul du taux de chloration au point d'injection

Après avoir fixé le débit du chlore (fonction du taux de traitement que l'on souhaite appliquer), on déduit le **taux de chloration au point d'injection** en divisant le débit massique de chlore par la masse de boue passant par heure au point d'injection. Ce taux chloration ne doit pas dépasser une certaine valeur.

Débit maximum de chlore acceptable

La **concentration en chlore au point d'injection** doit être **<35 mg de Cl₂/litre de boue** afin de ne pas créer un choc toxique trop important. On notera qu'ici on parle d'un rapport masse volume soit une concentration. Quand cette règle n'est respectée, il faut alors multiplier le nombre de point d'injection. Ce débit est uniquement fonction du débit de recirculation Q_r exprimé en litre/heure¹.

$$\text{Débit maximum de chlore acceptable} = \frac{Q_r \times 0,035}{150} \text{ en litre de Cl}_2/\text{h}$$

On divise par la concentration en chlore actif pour passer des grammes de chlore à des litres de chlore (ici 150 g/l).

Taux de traitement maximal

Le taux maximum de traitement au point d'injection est le taux (g Cl₂/kg MVS) de traitement au point d'injection que l'on obtient au débit maximum de chlore acceptable. Il n'est fonction que de C_{bi} = la concentration en MVS au point d'injection (g/l).

$$\text{Ce taux de traitement maximal est } \frac{35}{C_{bi}} \text{ en g Cl}_2/\text{kgMVS}$$

Taux maximum de traitement au point d'injection pour une concentration en boue au point d'injection.

Concentration en boue à la recirculation (g/L)	4	5	6	7	8	9
Taux de traitement maximal (g Cl ₂ /kgMVS)	8,75	7	5,8	5	4,4	3,9

En multipliant ce taux par la fréquence de passage, on détermine le taux de traitement maximal journalier.

Débit de recirculation Q_r (L/h)	Concentration des boues au point d'injection C_{bi}	Débit maximum de chlore acceptable $\frac{Q_r \times 0,035}{150}$ (litre de Cl ₂ /h)	Taux maximum de traitement au point d'injection = $\frac{35}{C_{bi}}$ g Cl ₂ /kgMVS	Taux maximum journalier acceptable = $\frac{35}{C_{bi}} \times f$ g Cl ₂ /kgMES/j

¹ A titre d'exemple pour une pompe de recirculation de 200 m³/h le débit maximum de chlore acceptable est de 46,6 l/heure.

FICHE DE CHLORATION JOURNALIERE

(1 feuille par jour mentionnant les données réellement appliquées)

JOUR DE CHLORATION

STATION D'ÉPURATION DE :

DATE

INDICE DE BOUE

Bassin d'aération Dilution

Vd30 :

MES

Ib

Ammoniaque en entrée (N-NH4)

Ammoniaque en sortie (N-NH4)

Remarque : la concentration de boues aux points d'injection (C_{bi}) peut être déduit du rapport entre le volume décanté mesuré à un point d'injection et l'indice de boue obtenu dans le bassin d'aération.

$$C_{bi} = Vd30/Ib$$

Avec $150 < Vd30 < 300$ ml

Temps de marche des pompes à chlore (h)	Débit pompe à chlore Q_{Cl_2} (l/h)	g de chlore ¹ injecté/h	Concentration de boues aux points d'injection C_{bi} (g/l)	Débit de boue au point d'injection Q_{bi} (kg MVS/h)	Taux de chloration au point d'injection (g Cl ₂ /kg MVS)
Quantité totale de chlore injectée kg Cl ₂ /j			Masse totale de boue traitée kg MVS/j		
Dose journalière g Cl ₂ /kg MVS/j					

¹Calcul du débit massique de chlore injecté en g Cl₂ = Titre de l'eau de Javel X Q_{Cl_2}

Note particulière pour le suivi microscopique

Le suivi microscopique de la chloration doit rendre compte de l'effet du chlore sur la faune des boues et en particulier de l'évolution des populations les unes par rapport aux autres. Il est nécessaire de faire un état de la situation avant le début de la chloration. L'importance numérique de chaque population peut être repérée les unes par rapport aux autres par les qualificatifs **dominant, très présents, présents..** ce qui nous donnera un taux de colonisation **relatif** entre espèces. Dans un autre temps, on se propose d'évaluer l'évolution de chaque espèce en lui attribuant une **valeur** (chiffre ou nombre de signes...), identique pour toutes les espèces au départ puis évoluant en positif ou en négatif suivant l'apparition ou la disparition des individus. Ceci nous donnera un taux de colonisation **relatif dans le temps** .

Matériel pour l'observation microscopique:

Microscope

Lumière du jour et contraste de phase
Objectif: X 10 ; X 40 ; X 100 (dotés d'un anneau de phase)
Oculaires X10 dont 1 gradué

Matériel annexe

Lame de comptage
Lame et lamelle
Huile à immersion (pour l'objectif X100)

Pour la préparation des échantillons

Tube à essai de 5 ou 10 ml
Pipette précise pour les dilutions , Les pipettes à embouts interchangeables sont conseillées pour leur précision et le fait qu'elles évitent d'avoir à nettoyer les pipettes lors du prélèvement d'échantillons différents.

Remarques sur la méthode d'observation :

La première observation va permettre de faire un bilan de départ de la situation. C'est à partir de celle-ci que l'on notera les évolutions. Pour ce qui est de l'observation de l'aspect général des boues une observation entre lame et lamelle (sans trop écraser la lamelle) avec l'objectif X10 est suffisante. On peut noter que si l'on se place sur l'anneau de phase réservé à l'objectif X100 et que l'on observe avec l'objectif X10 on se retrouve en situation d'observation en fond noir. On peut améliorer la netteté du fond noir en jouant sur la molette de réglage du condenseur. Cette technique du fond noir est très intéressante et très révélatrice de la densité de bactéries libres présentes ainsi que des petits flagellés. On peut même suivre parfois le cheminement des filaments à travers le floc. Il faut toutefois se méfier des impuretés de la lame et de la lamelle qui marque très bien en fond noir. Cette remarque est aussi vraie pour les débris minéraux ou végétaux qu'il ne faut pas confondre avec des bactéries libres. L'écrasement trop brutal entre lame et lamelle d'une goutte d'échantillon va rejeter sur les bords les éléments les plus petits. Ceci risque d'induire une erreur d'appréciation des densités de bactéries libres ou morceaux de filaments sur les observations des champs centraux. Pour ce faire il est préférable d'effectuer ces comptages sur lame de comptage ces effets se rencontrent moins avec ce type de lame. La lame de comptage présente une profondeur d'observation assez importante(100µm). Ainsi les boues nature sont difficilement observables dans leur ensemble dû à la présence trop importante de matériel. Il convient donc de recourir aux dilutions. Afin d'éviter les chocs osmotiques sur les animaux et les bactéries, l'eau de dilution doit-être de l'eau du réseau ou sur site, mieux encore de l'eau de sortie filtrée sur membrane de 0,2 µm

FICHE DE SUIVI MICROSCOPIQUE
FILAMENT

STATION D'ÉPURATION DE
DATE
JOUR DE CHLORATION

ASPECT DU FLOC-Dispersion des grains de floes – réfringence - bactéries libres

Dimension moyenne des grains de floes : μm

Filaments :

Noms d'après EIKELBOOM	Aspect ¹ général atteint du filament-Nbre cellules manquantes/ filament	Longueur ² moyenne	Nombre moyen de points anguleux ³	Importance des fragments libres ⁴ dans le floc	ORDRE D'IMPORTANCE	
					Absolu	Relatif

¹ Très atteint - atteint - peu atteint

² Pour les filaments situés à l'extérieur du floc

³ Angle net apparaissant sur les filaments à gaine (attention aux manipulations de la lamelle)

⁴ Fragments provenant des filaments cassés. Ce comptage doit se faire sur cellule de comptage

FICHE DE SUIVI MICROSCOPIQUE
PROTOZOAIRES

STATION D'ÉPURATION DE
DATE
JOUR DE CHLORATION

	NOMS	Nombres comptés	Appréciation numéraire relative	Observations particulières - Aptitude au déplacement-vivacité
FLAGELLES	Monas			
	Pleuromonas jaculans			
	Petalomonas			
	Peranema			
	Diplomonadida			
	Bodo sp			
CILIÉS	Aspidisca costata			
	Aspidisca lynceus			
	Trachelophyllum			
	Vorticelle			
	Epistylis			
	Carchesium			
	Euplotes			
	Chilodonella			
	Colpidium			
	Paramécie			