

## FICHE N°2 : CALCUL DE LA REDUCTION DU TAC SUR UNE FILIERE DE TRAITEMENT

Cette approche de consommation de TAC (Titre Alcalimétrique Complet) par les réactifs physico-chimiques et les cinétiques de nitrification est rappelée dans cette fiche car une carence en TAC peut être néfaste pour certains processus :

- Un manque de substrat (mg de  $\text{HCO}_3^-$ ) pour les germes autotrophes responsables de la nitrification entraîne un blocage de la nitrification.
- Cet abaissement de TAC diminue le pouvoir tampon du système (pH) et occasionne une acidité du milieu pouvant pénaliser le mécanisme de coagulation- floculation (pH minimum recommandé de l'ordre de 7) et la nitrification compte tenu de la sensibilité des germes autotrophes au pH.

### Quelques rappels :

**Unités : 1° F (1 degré français) = 12,2 mg de  $\text{HCO}_3^-$  /litre**

**1 mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à nitrifier consomme 8,5 mg de  $\text{HCO}_3^-$**

### Consommation d'alcalinité pour le traitement physico-chimique :

On a une consommation de 1,85 mg de  $\text{HCO}_3^-$ /mg de Fer précipité en  $\text{FePO}_4^{3-}$

On a une consommation de 3,3 mg de  $\text{HCO}_3^-$ /mg de Fer précipité en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$

### Consommation d'alcalinité pour une nitrification-dénitrification complète ( $[\text{N-NO}_3^-] < 2 \text{ mg/L}$ )

On a une consommation de 8,7 mg de  $\text{HCO}_3^-$  / mg d'azote nitrifié

On a une restitution de 4,36 mg de  $\text{HCO}_3^-$  / mg d'azote dénitrifié

**D'où** une consommation de 4,34 mg de  $\text{HCO}_3^-$  / mg d'azote nitrifié-dénitrifié.

### Mesure du TAC de l'eau brute (en période de dilution des eaux et en période sèche)

Alcalinité initiale de l'eau à traiter :

Période pluvieuse	Période sèche
9 °F	27 °F
Soit $9 \times 12,2 = 110 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^-$	Soit $330 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^-$

## Apport de FeCl<sub>3</sub> sur l'étage primaire

### Calcul de l'alcalinité consommée par l'apport de FeCl<sub>3</sub>

#### Données :

3 (période pluvieuse) et 5 (période sèche) mg de P à précipiter –

Ratio molaire Fe/P = 1,3 (exemple de ratio utilisé en primaire)

Quantité de Fer à injecter pour précipiter les orthophosphates

= 1,3 (ratio molaire) x 1,81 (ratio massique = 56/31) x 3 ou 5 mg de P à précipiter

= 7,1 mg ou 12 mg de Fer/L

52

Période pluvieuse	Période sèche
3 mg/L de P à précipiter	5 mg/L de P à précipiter
7,1 mg/L de Fe	12 mg/L de Fe
<b>On a utilisé :</b>	<b>On a utilisé :</b>
(Cf. Fiche technique 5 : production de boue)	
5,4 mg/L de Fer pour précipiter le FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	9,04 mg/L de Fer pour précipiter le FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
car FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> / P = 4,87	car FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> / P = 4,87
soit 4,87 x 3 = 14,6 mg de FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	soit 4,87 x 5 = 24,35 mg de FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L avec
avec 37,1% de Fe	37,1% de Fe
+ 1,7 mg/L de Fe sont utilisés pour précipiter les Fe(OH) <sub>3</sub>	+ 2,96 mg/L de Fe sont utilisés pour précipiter les Fe(OH) <sub>3</sub>
car 7,1 mg de fer/L moins 5,4 utilisé par les FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	car 12 mg de fer/L moins 9,04 utilisé par les FePO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<b>Bilan du TAC consommé :</b>	<b>Bilan du TAC consommé :</b>
Soit 5,4 x 1,85 mg de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /mg de Fer précipité en FePO <sub>4</sub>	Soit 9,04 x 1,85 mg de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /mg de Fer précipité en FePO <sub>4</sub>
+	+
1,7 x 3,3 mg de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /mg de Fer précipité en Fe(OH) <sub>3</sub>	2,96 x 3,3 mg de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /mg de Fer précipité en Fe(OH) <sub>3</sub>
<b>= 15,6 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / litre</b>	<b>= 26,5 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / litre</b>

### Calcul de l'alcalinité consommée par la nitrification

La nitrification d'1 mg de N-NH<sub>4</sub> consomme 8,7 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Période pluvieuse	Période sèche
On a nitrifié 15 mg/L de N en N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Soit 15 mg/L de N nitrifié x 8,7 = <b>130,5</b> <b>mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	35 mg/L de N en N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Soit 35 mg/L de N nitrifié x 8,7 = <b>304,4</b> <b>mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>

### Calcul de l'alcalinité restituée par la dénitrification

La dénitrification d'1 mg de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> restitue 4,36 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Dans notre exemple, avec **une dénitrification totale** :

Période pluvieuse	Période sèche
15 mg/L de N dénitrifié Soit 15 mg/L de N dénitrifié x 4,36 = <b>65,4</b> <b>mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	35 mg/L de N dénitrifié Soit 35 mg/L de N dénitrifié x 4,36 = <b>152,6</b> <b>mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>

### SYNTHESE DE LA CONSOMMATION DE TAC

	Période pluvieuse	Période sèche
<b>Apports</b> : Eau usée	110 mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	330 mg/L HCO <sub>3</sub>
<b>Consommation</b> :		
Physico-chimique	- 15,6 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre	- 26,5 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre
Nitrification	- 130,5 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre	- 304,4 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre
<b>Restitution</b> :		
Dénitrification	+ 65,4 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre	+ 152,6 mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /litre
<b>Bilan</b> :	<b>29,3 mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>151,7 mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>

## CONCLUSION

La **consommation trop importante d'hydrogéo-carbonates** ( $\text{HCO}_3^-$ ) a des conséquences importantes, en particulier sur :

- **Le blocage de la nitrification** par absence de substrat et aussi acidification du milieu dont les germes autotrophes sont très sensibles au pH acide du milieu.
- **L'acidité de l'eau** peut aussi pénaliser les réactions de coagulation et de floculation du traitement physico-chimique et éventuellement le pH des eaux rejetées.

Dans le cas d'un manque d'hydrogéo-carbonates ou afin d'éviter sa perte au cours du traitement, la démarche suivante peut être retenue :

**Sur l'étage physico-chimique**, la perte d'hydrogéo-carbonates est due à l'acidité du milieu compte tenu de la solution acide de  $\text{FeCl}_3$  apportée. Cette acidité pourra être évitée ou compensée par **l'ajout d'une base** telle que l'injection d'une solution de chaux éteinte sachant que l'on compense 1,65 mg de  $\text{HCO}_3^-$  / g de chaux éteinte; ou par l'utilisation d'autres réactifs moins acides comme par exemple l'aluminate de sodium.

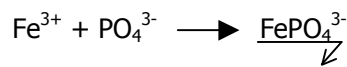
**Sur l'étage biologique**, en l'absence d'hydrogéo-carbonate, **la complémentation s'avère indispensable** et les principaux produits envisageables pour apporter de l'alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ ) sont :

- L'hydrogéo-carbonate de sodium, a priori le moins cher
- L'hydrogéo-carbonate de potassium

**FICHE N°3 : CALCUL DU VOLUME DE COAGULANT EN SOLUTION COMMERCIALE A APPORTER PAR JOUR** **CAS DU CHLORURE FERRIQUE : FeCl<sub>3</sub>**

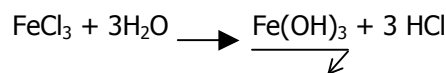
Afin de précipiter la quantité de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> voulue au niveau du clarifloculateur, une quantité de Fer doit être injectée : une partie est utilisée pour former des phosphates de fer et une autre pour former des hydroxydes de Fer (réaction parasite).

La réaction du chlorure ferrique avec les orthophosphates est la suivante :



Formation d'un précipité appelé phosphate de fer

La réaction « parasite » du chlorure ferrique avec l'eau est la suivante :



Formation d'un précipité appelé hydroxyde de fer

Cette quantité de Fer apportée est calculée de la façon suivante :

**Rappels :**

Le ratio massique (mole / mole) Fe / P est constant et est égal à 1,81:

Avec la masse atomique du Fer = 56 g/mole

Et la masse atomique du P (phosphore) = 31 g/mole d'où Fe / P = 56 / 31 = 1,81

Le ratio molaire (Fe à appliquer / P à traiter, donc entrant) est fixé en fonction du rendement recherché.

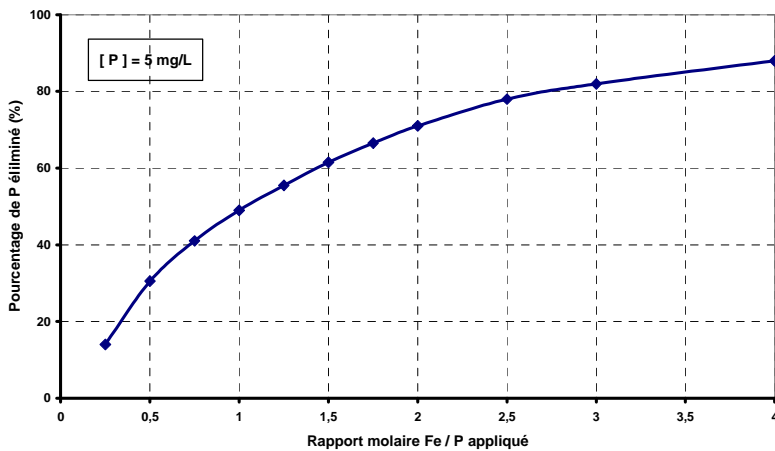


Figure 7 – Evolution du rendement d'élimination du P en fonction du ratio molaire Fe apporté/P appliqué

Pour d'autres concentrations d'entrée, la figure 6 page 25 du document FNDAE n°29 fournit cette information.

On sait que pour un même rendement, les ratios sont plus élevés lorsque la concentration en ortho-phosphates des eaux à traiter est plus faible.

A titre d'exemple : En traitement primaire (10 mg P/L), les ratios sont de l'ordre de 1,5 à 2.

En traitement tertiaire (1,2 mg P/L), les ratios sont de l'ordre de 3.

En traitement tertiaire, la consommation de réactif par rapport à la quantité de phosphate éliminée est beaucoup plus élevée.

Par exemple, on peut retenir un ratio molaire (Fe à appliquer / P) de 3,45 en tertiaire afin d'obtenir un rendement élevé sur le  $P-PO_4^{3-}$  de l'ordre de 85 %.

### Exemple : données de base

Flux journalier d'ortho-phosphate appliqué sur l'ouvrage = 29 kg de  $P-PO_4^{3-}$  /jour.

Rendement escompté de l'ouvrage = 85 % d'où un ratio molaire de 3,45 ce qui nécessite de piéger 24,65 kg de  $P-PO_4^{3-}$  /jour arrondi à 25 kg de  $P-PO_4^{3-}$  /jour.

Caractéristiques de la solution commerciale de chlorure ferrique utilisée sur le site : 41 % de  $FeCl_3$  avec une masse volumique de 1,45 kg/litre.

- Calcul de la quantité de Fer pur à apporter chaque jour pour éliminer 25 kg de  $P-PO_4^{3-}$   
= Flux de phosphore à éliminer x ratio molaire choisi x ratio massique  
=  $25 \times 3,45 \times 1,81 = 156,1$  kg de Fer/jour

56

- Calcul du volume de la solution commerciale à injecter par jour pour apporter 156,1 kg de Fer nécessaires.

La solution de chlorure ferrique commerciale est dosée à 204,5 g Fe par Litre arrondi à 205 g Fe par Litre (solution à 41% de  $FeCl_3$ ).

En effet, dans 1 litre de solution commerciale, on a 41 % de  $FeCl_3$  composé de 34,5 % de Fer (Masse atomique du Fe = 56 et du Cl = 35,5 d'où  $56/162,5 = 34,5$ ) et de masse volumique de la solution commerciale égale à 1,45 kg/litre.

Ce qui donne :

1 L de solution commerciale x 41 % x 34,5 % x 1,45 = 0,205 kg de Fer/L de solution commerciale (ou 0,594 kg de  $FeCl_3$ /L de solution commerciale).

En raison d'un besoin de 156,1 kg de Fer à apporter chaque jour et d'une solution commerciale concentrée à 205 g Fer/L ou  $kg/m^3$

d'où  $156,1 / 0,205 = 0,762 m^3 /$  jour de solution commerciale de chlorure ferrique ou de 1,104 tonne de solution commerciale de chlorure ferrique / jour ( $0,762 \times$  masse volumique de 1,45).

Le volume de solution commerciale de chlorure ferrique à apporter chaque jour est de 763 Litre / jour.

## FICHE N°4 : DEMARCHE DE LA VERIFICATION DES TAUX DE TRAITEMENT

### EXEMPLE DE CALCUL POUR LE COAGULANT : CAS DU CHLORURE FERRIQUE ( $\text{FeCl}_3$ )

En exploitation, le relevé des quantités de produits consommés (coagulant et floculant) doit être réalisé régulièrement pour optimiser et limiter les coûts d'exploitation : consommation de réactifs, production de boue,... L'optimisation de l'apport des réactifs doit être également analysée avec les résultats obtenus en sortie du procédé de traitement.

Ce relevé, comparé avec les apports recherchés ou annoncés par l'automate, permet :

- De détecter des anomalies de fonctionnement comme : les fuites, le colmatage de la canalisation ou le mauvais rendement de la pompe (débit plus faible). Cette quantité réelle de produits consommés peut être facilement obtenue par la différence de hauteur mesurée sur le bac de stockage dont le volume est obtenu par le produit de cette hauteur par la surface du bac ramené à une durée donnée.
- Et de réagir sur les quantités apportées afin de mieux les optimiser.

A partir de la quantité de produit réellement apportée, le ratio molaire Fe/P peut être vérifié et optimisé en fonction de la concentration en orthophosphates mesurée en sortie. L'objectif est d'atteindre le niveau de rejet demandé. Au-delà, les réactifs non piégés en phosphates de fer compte tenu de l'absence de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  participent à la production de boue par la précipitation en hydroxyde de Fer et à une consommation de réactifs inutile.

Le taux de traitement appliqué s'exprime couramment en g de Fe ou g de  $\text{FeCl}_3$  pur /  $\text{m}^3$  d'eau traitée.

En prenant par exemple les mêmes données que précédemment, on obtient :

#### Données :

Volume journalier de solution commerciale apporté = 763 L de solution commerciale/j

Volume journalier traité : 26 000  $\text{m}^3$ /jour

Flux journalier de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  appliqué : 29 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  /j

Flux journalier de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  à éliminer : 25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  /j

#### TAUX DE TRAITEMENT : ATTENTION AUX UNITES

En g de Fer pur/  $\text{m}^3$  d'eau traitée :

On apporte 156,1 kg de Fer pur/jour ( $25 \times 3,45 \times 1,81 = 156,1$  ou 763 L de solution à 204,5 g Fer/L) ce qui donne un taux de traitement de 6 g de Fe pur /  $\text{m}^3$  d'eau traitée ou 6 mg de Fer pur/Litre.

En g de  $\text{FeCl}_3$  pur/  $\text{m}^3$  d'eau traitée

On apporte 454 kg de  $\text{FeCl}_3$  par jour (= 763 l x 41 % x 1,45) ce qui donne un taux de traitement de 17,4 g de  $\text{FeCl}_3$  pur/ $\text{m}^3$  d'eau traitée ou 17,4 mg de  $\text{FeCl}_3$  pur/Litre.

Ce taux de traitement est à comparer avec celui annoncé au dimensionnement.

Les mêmes calculs sont réalisés régulièrement avec le polymère.

#### **VERIFICATION DU RATIO MOLAIRE REELLEMENT APPLIQUE**

Chaque jour, on apporte 156,1 kg de Fer pur (= 763 L x 204,5 g/L) pour éliminer 25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ce qui donne une consommation de 6,24 kg de Fer par kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  éliminé.

Compte tenu du ratio massique Fe /P de 1,8 (= 55,8 / 31), le ratio molaire est de 3,45 ( $156,1/25 = 6,24$  et  $6,24 / 1,81 = 3,45$ ).

Cette valeur est à comparer avec le ratio théorique fixé par l'exploitant en vue de son optimisation (fonction des résultats de sortie).



## FICHE N°5 : CALCUL DE LA PRODUCTION DE BOUE ISSUE DU TRAITEMENT

### PHYSICO-CHIMIQUE TERTIAIRE

La quantité de boue produite sur cet étage de traitement est fonction de deux paramètres :

- De la quantité de MES piégées dans l'ouvrage,

Cette quantité de MES piégées par l'ouvrage exprimée en kg de MES/jour

= flux de MES éliminé

= Q journalier en m<sup>3</sup> /j x ([MES] entrée - [MES] sortie en mg/L x 1000)

Sachant que la concentration en MES des échantillons d'entrée et sortie doit être mesurée à partir d'échantillons journaliers proportionnels aux débits.

- Et de la quantité de boue formée par les réactifs physico-chimiques.

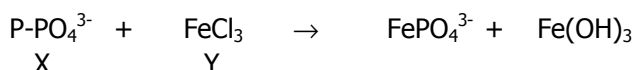
La quantité de boues physico-chimiques produites est liée à la quantité de FePO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et de Fe(OH)<sub>3</sub> formé plus la quantité de polymère apportée. Dans un bilan boue, très souvent, la quantité de polymère apportée n'est pas prise en compte du fait des faibles valeurs en jeu et les quantités de FePO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et Fe(OH)<sub>3</sub> formés dépendent du flux en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à précipiter, de l'excès de fer par rapport aux orthophosphates à éliminer d'où une formation d'hydroxyde importante.

La différence entre la quantité de boue produite (calcul théorique) et la quantité de boue mesurée peut s'expliquer :

- Soit par la quantité de polymère injectée (non comptabilisé dans la production de boue compte tenu des doses appliquées faibles),
- Soit par la quantité de sable perdu par le système au niveau de l'évacuation des boues en excès (cas de l'actiflo®). On parle d'une perte de boue de l'ordre de 5 g/m<sup>3</sup> d'eau traitée avec 50% vers la filière boue et 50% vers les eaux de sortie.

Un bilan boue doit être effectué sans stockage ou déstockage des boues de l'ouvrage (voile de boue ou taux de sable équivalent).

#### RAPPEL DU PROCESSUS DE DEPHOSPHATATION PHYSICO-CHIMIQUE :



Avec les masses atomiques suivantes :

Fe : 56    P : 31    O : 16    d'où FePO<sub>4</sub><sup>3-</sup> : 151

H : 1    d'où Fe(OH)<sub>3</sub> : 107

Dans une mole de FePO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, on a 20,5 % de P (= 31/151) et 37,1 % de Fe

Dans une mole de Fe(OH)<sub>3</sub>, on a 52,3 % de Fe

Les ratios massiques sont les suivants :

$$\text{FePO}_4^{3-} / \text{P} = 151/31 = 4,87$$

$$\text{FePO}_4^{3-} / \text{Fe} = 151/ 56 = 2,7$$

$$\text{Fe(OH)}_3 / \text{Fe} = 107 / 56 = 1,91$$

Avec  $X = \text{kg de P-PO}_4^{3-}$  à éliminer par jour

$Y = \text{kg de Fer}$  apporté par jour

#### FORMULES D'ÉVALUATION DE LA PRODUCTION DE BOUE PHYSICO-CHIMIQUE :

- La quantité de  $\text{FePO}_4^{3-}$  formé est =  $4,87 \cdot X$  (flux de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  apporté) car le ratio massique  $\text{FePO}_4^{3-} / \text{P} = 151/31 = 4,87$
- La quantité d'hydroxyde de Fer est fonction de la quantité de Fer non utilisé pour la précipitation des orthophosphates.

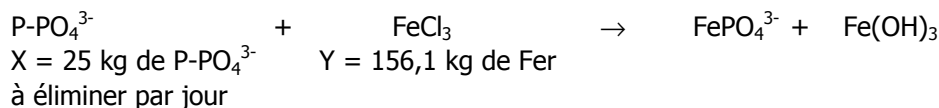
Le fer utilisé par les ortho-phosphates est de : 37,1 % des  $\text{FePO}_4^{3-}$  formés

Le fer disponible pour la formation des hydroxydes est de : Quantité de Fer apporté (Y) moins le fer utilisé pour la précipitation des orthophosphates d'où Fer disponible ( $37,1\%$  de  $\text{FePO}_4^{3-}$  formés =  $4,87 \cdot X$ ).

Sachant que la masse atomique  $\text{Fe(OH)}_3/\text{Fe}$  est = 1,91, la quantité de boue liée aux hydroxydes de Fer est de : Fer disponible aux hydroxydes x 1,91.

60

#### Exemple :



#### Données de base :

Flux journalier de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  apporté = 29 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-} / \text{j}$

Flux journalier de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  à éliminer = 25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-} / \text{j}$  ce qui entraîne un rendement de 86 % d'où un ratio molaire de l'ordre de 3,45 (cf. figure n°7 dans le document).

Quantité de Fer à apporter chaque jour pour éliminer 25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  :

$$25 \times \text{ratio molaire choisi} \times \text{ratio massique} = 25 \times 3,45 \times 1,81 = 156,1$$

#### CALCUL DE LA PRODUCTION DE BOUE PHYSICO-CHIMIQUE :

- La quantité de  $\text{FePO}_4^{3-}$  formé est =  $4,87 \times X$  car le ratio massique  $\text{FePO}_4^{3-} / \text{P} = 151/31 = 4,87$   
La quantité de  $\text{FePO}_4^{3-}$  formé est =  $4,87 \times 25 = 121,75 \text{ kg de FePO}_4^{3-}$
- La quantité d'hydroxyde de Fer est fonction de la quantité de Fer non utilisé pour la précipitation des orthophosphates.

Le fer utilisé par les orthophosphates est de : 37,1 % des  $\text{FePO}_4^{3-}$  formés

$$= 121,75 \times 37,1\% = 45,17 \text{ kg de Fer}$$

Le fer disponible pour la formation des hydroxydes est de : Quantité de Fer apporté (Y) moins le fer utilisé pour la précipitation des orthophosphates

$$\text{d'où Fer disponible} = 156,1 - 45,17 = 110,9 \text{ kg de Fer disponible pour les hydroxydes.}$$

Sachant que la masse atomique  $\text{Fe(OH)}_3/\text{Fe}$  est = 1,91, la quantité de boue liée aux hydroxydes de Fer est de : Fer disponible aux hydroxydes x 1,91

$$= 110,9 \times 1,91 = 211,9 \text{ kg de Fe(OH)}_3 \text{ sont formés en parallèle.}$$

Afin de précipiter en totalité 25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  par jour, la production de boue physico-chimique est, sans perte de fer en sortie, est de :

$$121,75 \text{ kg de FePO}_4^{3-} \text{ formé (36,5 \% du total) + 211,9 kg de Fe(OH)}_3 \text{ formés (63,5 \% du total) = 333,65 Kg de boues physico-chimiques.}$$

On a produit 13,3 kg de boue physico-chimique/ kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  précipité (333,65 kg de Boues /25 kg de  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ).

Avec 47 % de Fer (156,1 kg de Fer pour 333,65 kg de boue formée)

#### **METHODE DE CALCUL RAPIDE :**

Production de boue physico-chimique = ratio ( $\text{FePO}_4^{3-} / \text{P} = 4,87$ ) + [((ratio molaire Fe / P choisi) - 1) x (ratio  $\text{Fe(OH)}_3 / \text{P} = 3,45$ )] x flux de P à éliminer

Production de boue physico-chimique = [ 4,87 + ((Fe / P choisi) - 1) x 3,45] x flux de P à éliminer

Dans notre exemple, cette formule rapide donne :

Production de boue physico-chimique = [ 4,87+ (3,45-1) x 3,45] x 25 = 13,32 x 25 = 333 Kg de boues physico-chimiques

## FICHE N°6 : CONSEQUENCE D'UNE MAUVAISE OPTIMISATION DU DOSAGE DE COAGULANT SUR LA PRODUCTION DE BOUE PHYSICO-CHEMIQUE

A partir de notre exemple abordé dans les fiches précédentes :

Pour éliminer 25 kg de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> sur la clarificateur avec un ratio molaire de 3,45, soit une consommation de 156,1 kg de fer par jour, la production totale de boue physico-chimique est de 333 kg de boues.

$$\text{Formule rapide} = [4,87 + (3,45 - 1) \times 3,45] \times 25 = 13,32 \times 25 = 333 \text{ Kg de boues}$$

(cf. fiche n°5 précédente )

### ETUDE DE DEUX CAS FREQUEMMENT OBSERVES SUR LES INSTALLATIONS ETUDIEES :

#### 1<sup>er</sup> cas : Dysfonctionnement du dosage de FeCl<sub>3</sub>

L'installation est à sa charge nominale, soit 25 kg de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à éliminer.

Mauvais réglages des pompes d'injection de FeCl<sub>3</sub> avec une dose de Fer appliqué de 226 kg de Fer /jour.

#### 2<sup>ème</sup> cas : Sous charge de l'installation (50 % de taux de charge)

Flux de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à éliminer = 12,5 kg / jour

Avec un même réglage soit 156,1 kg de Fer / jour

62

	Référence (Fiche tech. n°5)	1 <sup>er</sup> cas	2 <sup>ème</sup> cas
<b>Flux de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à éliminer</b>	25 kg	25 kg	12,5 kg
<b>Quantité de Fer injecter</b>	156,1 kg	226 kg	156,1 kg
<b>Ratio molaire</b> ((Quantité de fer / Flux de P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) / 1,81)	3,45	5	6,9
<b>Production totale de boue physico-chimique (voir formule rapide)</b>	333 kg de boue	467 kg de boue soit 40 % de plus	315 kg de boue soit 5 % de moins.
<b>Production spécifique Kg de boue/kg de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> précipité</b>	<b>13,3</b>	<b>18,7 (+ 40%)</b>	<b>25,2 (+ 89%)</b>

La production spécifique de boue de ce type d'ouvrage sera exprimé en kg de boue produite par kg de phosphore éliminé compte-tenu que l'objectif prioritaire du clarificateur est l'élimination des

orthophosphates. Pour la production de boue physico-chimique, on exprimera la production spécifique de boues physico-chimiques / kg d'ortho-phosphates éliminé.

Dans ces différents scénarios, on observe qu'une mauvaise optimisation du dosage du coagulant entraîne des productions de boue supplémentaire très importante (+ 40 et + 89%) Ces résultats militent pour une optimisation poussée du poste réactifs afin d'apporter la quantité nécessaire de fer en évitant le sous ou le sur dosage.

Si la quantité de  $P-PO_4^{3-}$  en sortie d'ouvrage est supérieure à la quantité désirée, un apport supérieur de Fer est nécessaire.

Par contre, si la quantité de  $P-PO_4^{3-}$  en sortie est inférieure à la quantité désirée, une diminution du dosage du chlorure ferrique est possible afin d'éviter une fuite de fer vers le milieu naturel ainsi qu'une surproduction de boue physico-chimique.

Le suivi des quantités de Phosphore en entrée, en sortie de l'ouvrage et des réactifs réellement consommés sont donc des points importants du suivi de ce type d'ouvrage.

## FICHE N°7 : EXEMPLES DE TYPE D'ASSERVISSEMENT POUR L'INJECTION DES REACTIFS EN VUE DE L'OPTIMISATION DES QUANTITES A INJECTER.

### CAS DU COAGULANT : $FeCl_3$ - PRESENTATION DES PRINCIPALES DIFFICULTES RENCONTREES.

Dans les fiches techniques précédentes, nous avons abordé le calcul de la quantité journalière de réactifs à injecter en insistant bien sur les conséquences de son excès sur la production de boue et donc sur les coûts d'exploitation. A ce niveau, les consommations en réactifs sont souvent très élevées en raison des deux principales difficultés suivantes :

- Faible concentration d'entrée et rendement demandé très élevé (> 80%),
- Fluctuations pouvant être très importantes du flux de P entrant au cours de la journée.

Cette optimisation nécessite d'apporter le réactif en fonction de la charge en orthophosphates à traiter ce qui implique d'adapter les apports en fonction de la charge entrante.

Différentes possibilités d'asservissement sont rencontrées sur ce type d'ouvrage et la plus courante est un asservissement en fonction du débit. Dans certains cas, des analyseurs de  $P-PO_4^{3-}$  ont été installés lors de la construction ce qui permet réellement d'adapter les quantités injectées en fonction du flux entrant à condition que la réponse du système (asservissement au flux, c'est à dire au produit de la concentration donnée par l'analyseur par le débit) soit rapide compte tenu du temps de séjour très court des eaux à traiter dans l'ouvrage (quelques minutes). Ce dernier type d'asservissement est rapidement mis à l'arrêt en raison des fortes contraintes d'exploitation. Il pourra être fortement recommandé dans les cas où la charge à traiter au cours de la journée varie fortement et ne peut être prédite compte tenu d'un traitement amont très compact (absence de pouvoir tampon du réacteur amont)) et les flux entrée station très variables liés au type de réseau, à des activités industrielles. Dans les autres cas et plus particulièrement en traitement tertiaire, il est préférable d'établir des courbes de référence de l'évolution de la concentration et du flux en ortho-phosphates à traiter. Ce type de courbes peut permettre de définir d'éventuelles périodes de la journée où l'ajout de réactifs peut être fortement limité voir arrêté.

Nous allons présenter deux cas en traitement tertiaire en étudiant les possibilités d'asservissement et surtout les difficultés rencontrées.

- **Cas n° 1** : Filière boue activée à l'amont du clari-floculateur.
- **Cas n°2** : Filière biofiltration

Remarque : on observe des variations en terme de concentrations très limitées sur des systèmes de type Boue Activée en aération prolongée en raison d'un temps de séjour des effluents de l'ordre de 24 heures (fort pouvoir tampon). Inversement, les systèmes Biofiltration avec un temps de séjour de l'ordre de l'heure, occasionnent des variations importantes de concentrations sur la journée.

Le mode d'asservissement retenu et le type d'équipement installé (plage de réglage de débit des pompes d'injection Q minimal / maximal) est fonction des besoins calculés.

## EXEMPLE DE METHODE DE CALCUL

### Données :

Type d'effluent à traiter : eau usée domestique majoritairement

Charges hydrauliques :

	Volume journalier	Débit mini.	Débit moyen	Débit maxi.
Charge hydraulique	50 000 m <sup>3</sup> /j	1000 m <sup>3</sup> /h	2083 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h

Cp hydraulique = 1,92

Flux de Phosphore total à traiter : 600 kg de PT/jour (concentration en PT de 12 mg de PT/L).

Niveau de rejet demandé : concentration en PT < 1 mg/L

### 1<sup>er</sup> Cas : Filière amont : Boue activée - aération prolongée avec une déphosphatation biologique et physico-chimique.

La concentration en PT obtenue en sortie de la boue activée peut être variable suivant le traitement plus ou moins poussé retenu à l'amont (physico-chimique et/ou biologique). On retiendra le scénario moyen suivant :

Traitement amont moyen : 71% d'abattement sur le Ptotal d'où en sortie de filière boue activée, 3,5 mg/L de PT avec 2,5 mg/L de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

L'objectif de l'étage tertiaire (respect de [PT] < 1 mg/L) est d'obtenir une concentration moyenne journalière en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en sortie d'installation de l'ordre de 0,3 mg/L. A cette teneur en orthophosphate s'ajoute la part de phosphore total lié aux matières en suspension (sur la base d'un rejet de 10 mg de MES/L avec 5 % de PT par g MES) soit 0,5 mg de PT constitutif d'où un rejet vers le milieu récepteur de 0,8 mg de PT/L.

**Remarque importante :** Dans le cas d'un traitement amont très poussé, l'objectif du 0,2 – 0,3 mg d'orthophosphate par litre est déjà atteint et une simple clarification pour éliminer les MES donc le phosphore constitutif peut suffire pour le respect du niveau de rejet demandé.

Calculs :

	Volume journalier	Débit mini.	Débit moyen	Débit maxi.
<b>Charge hydraulique</b>	50 000 m <sup>3</sup> /j	1000 m <sup>3</sup> /h	2083 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h
<b>[PT] sortie boue activée</b>	3,5 mg/L	2,95 mg/L	3,5 mg/L	4,2 mg/L
<b>Estimation du P constitutif 20 mg/L MES x 4,5 % de P = 0,9 mg/L</b>				
<b>Avec des variations de concentration en MES fonction du débit</b>				
<b>Concentration en MES en sortie Boue activée</b>	20 mg/L (soit 0,9 mg P constitutif /L)	10 mg/L (soit 0,45 mg P constitutif /L)	20 mg/L (soit 0,9 mg P constitutif /L)	30 mg/L (soit 1,35 mg P constitutif /L)
<b>Objectif : 0,3 mg/L de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en sortie</b>				
<b>[P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] Entrée tertiaire</b>	2,6 mg/L	2,5 mg/L	2,6 mg/L	2,85 mg/L
<b>[P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] à éliminer</b>	2,3 mg/L	2,2 mg/L	2,3 mg/L	2,55 mg/L
<b>Flux de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à éliminer</b>	115 kg/j	2,2 kg/h	4,8 kg/h	10,2 kg/h
<b>Rendement en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	88 %	88%	88%	89 %
<b>Ratio massique Fe / P = 1,81</b>				
<b>Ratio molaire Fe / P correspondant : 3,5</b>				
Quantité de Fer = Flux de P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> à éliminer x 1,81 (ratio massique) x 3,5 (ratio molaire)				
<b>Quantité de Fer à apporter</b>	728 kg/j	13,9 kg/h	30,4 kg/h	64,6 kg/h
<b>Solution commerciale de FeCl<sub>3</sub> est aux alentours de 204 g de Fer/L</b>				
<b>Volume de solution commerciale de FeCl<sub>3</sub> à apporter</b>	3,57 m <sup>3</sup> /j	68 L/h	149 L/h	316 L/h

On note un débit variable de la pompe d'injection de 68 L/h à 316 L/h, soit un coefficient de 4,6. Ce coefficient est relativement faible en raison du ratio hydraulique de 4 (débit maxi sur le débit de pointe) et du ratio de concentrations de 1,16 (Concentration maximum sur concentration minimum). Sur cette installation, le coefficient de variation global (de 4,6) est relativement faible pour le choix de la pompe et l'asservissement sur le débit sera bien adapté compte tenu du poids de ce coefficient hydraulique sur le global (facteur 4).



## **2ème Cas : Filière amont : Biofiltration avec une déphosphatation physico-chimique sur l'étage primaire.**

La concentration moyenne journalière en PT obtenue en sortie de la filière biofiltration peut varier suivant le traitement plus ou moins poussé retenu à l'amont (traitement physico-chimique sur l'étage primaire ) avec obligatoirement une concentration suffisante en  $P-PO_4^{3-}$  à l'entrée biofiltration pour maintenir l'activité biologique du biofiltre. On retiendra sur le scénario présenté une concentration moyenne en PT de 2,9 mg/L soit un rendement de 76 % :

Sortie de la filière biofiltre : 2,9 mg/L de PT avec 2,7 mg/L de  $P-PO_4^{3-}$

Compte tenu de l'estimation du P constitutif à 0,2 mg de P/L (avec 12 mg/L MES x 80% de MVS x 2% de P = 0,2 mg/L). Dans ce cas, le taux de P constitutif est de 2 % compte du rejet de biomasse issu des biofiltres sans traitement spécifique (boue biologique de sur accumulation ou perte de boue physico-chimique).

L'objectif de l'étage tertiaire est d'obtenir une concentration moyenne journalière en  $P-PO_4^{3-}$  en sortie d'installation de l'ordre de 0,3 mg/L. A cette teneur en orthophosphates s'ajoute la part de phosphore total lié aux matières en suspension (sur la base d'un rejet de 10 mg de MES/L avec 5 % de PT par g MES compte tenu ici de pertes de boue physico-chimique) soit 0,5 mg de PT constitutif d'où un rejet vers le milieu récepteur de 0,8 mg de PT/L.

**Remarque importante** : Sur une filière biofiltration où une partie de la déphosphatation physico-chimique se fait sur l'étage primaire. Un traitement très poussé sur cet étage est difficilement envisageable (objectif du 0,2 mg d'ortho-phosphates par litre) car il présente un risque important de carence en P indispensable pour l'activité biologique aval.

## Calculs :

	<b>Volume journalier</b>	<b>Débit mini.</b>	<b>Débit moyen</b>	<b>Débit maxi.</b>
<b>Charge hydraulique</b>	50 000 m <sup>3</sup> /j	1000 m <sup>3</sup> /h	2083 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h
<b>[PT] sortie biofiltre</b>	2,9 mg/L	1 mg/L	2,9 mg/L	6 mg/L
Estimation du P constitutif 12 mg/L MES x 2 % de P = 0,24 mg/L				
Avec des variations de concentrations en MES fonction du débit importante compte tenu des temps de séjour hydrauliques très courts sur ce type de filière.				
<b>Concentration en MES en sortie Boue activée</b>	12 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	20 mg/L
<b>Objectif : 0,3 mg/L de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en sortie milieu récepteur.</b>				
<b>[P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] Entrée tertiaire</b>	2,7 mg/L	0,85 mg/L	2,7 mg/L	5,6 mg/L
<b>[P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] à éliminer</b>	2,4 mg/L	0,55 mg/L	2,4 mg/L	5,3 mg/L
<b>Flux de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> à éliminer</b>	120 kg/j	0,55 kg/h	5 kg/h	21,2 kg/h
<b>Rendement en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	89 %	65 %	89 %	95 %
<b>Ratio massique Fe / P = 1,81</b>				
Ratio molaire Fe / P correspondant : 3,5				
Quantité de Fer = Flux de P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> à éliminer x 1,81 (ratio massique) x 3,5 (ratio molaire)				
<b>Quantité de Fer à apporter</b>	760 kg/j	3,5 kg/h	31,7 kg/h	134,3 kg/h
Solution commerciale de FeCl <sub>3</sub> est aux alentours de 204 g de Fer/L				
<b>Volume de solution commerciale de FeCl<sub>3</sub> à apporter</b>	3,72 m <sup>3</sup> /j	17 L/h	155 L/h	658 L/h

On note un débit variable de la pompe d'injection de 17 L/h à 658 L/h soit un coefficient de 38. Ce dernier est relativement élevé en raison du ratio hydraulique de 4 (débit maxi sur le débit minimum) et du ratio de concentrations de 9,6 (Concentration maximale sur concentration minimale). Sur cette installation, le coefficient de variation global (de 38) est très élevé pour le choix de la pompe et l'asservissement sur le débit très complexe nécessitera la mise en place de plusieurs pompes pour atteindre le débit souhaité.



## ANNEXES

- Annexe 1** – Evolution des concentrations sur des procédés de traitement poussés situés à l’amont d’un clarifloculateur
- Annexe 2** – Estimation des concentrations minimales envisageables en sortie de clarifloculation en traitement tertiaire à partir d’une Eau Usée Domestique normalement concentrée
- Annexe 3** – Niveaux de rejets demandé pour les STEP équipées d’un tertiaire
- Annexe 4** – Les étapes de Coagulation et Flocculation
- Annexe 5** – Concentrations mesurées en Fer
- Annexe 6** – Liste (non exhaustive) des collectivités françaises équipées de clarifloculateurs en 2004
- Annexe 7** – Résultats des mesures sur site

## ANNEXE 1 - ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS SUR DES PROCÉDES DE TRAITEMENT POUSSÉS SITUÉS À L'AMONT D'UN CLARI-FLOCCULATEUR

### Caractéristiques :

En mg/L	DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	N			P	
				NK	Noxy	NGL	PT	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<b>Eau Usée Domestique normalement concentrée</b>								
<b>Temps sec</b> (talon réfract.)	<b>700</b> (30-35)	<b>290</b>	<b>260</b>	<b>70</b> (1,5)	<b>0</b>	<b>70</b> (1,5)	<b>12-15</b>	<b>10-12</b>
<b>Tps de pluie</b>								
Fact. de charge	x 1,8	x 1,5	x 2	X 1,3			X 1,3	
<b>Sortie du Procédé Boues Activées : traitement du C + N + P</b> <b>(avec déphosphatation biologique et physico-chimique)</b>								
<b>Temps sec</b>	<b>60-70</b>	<b>10-15</b>	<b>15-20</b>	<b>5-6</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>1,2-1,5</b>	<b>0,2-0,3</b>
D'où Rendement %	90-91	95-96	92-94	91-93		88	90-92	
<b>Tps de pluie</b>	<b>50-60</b>	<b>15-20</b>	<b>20-25</b>				<b>1,5</b>	
D'où Rendement %	86-88	86-90	88-91				77	
<b>Sortie du Procédé Biofiltration en traitement poussé C + N</b> <b>(avec un traitement I physico-chimique et donc une déphosphatation)</b>								
<b>Temps sec</b>	<b>70</b>	<b>15</b>	<b>12-15</b>	<b>5</b>		<b>10-15</b>	<b>1,5-2</b>	
D'où Rendement %	90	95	94-95	93		78-86	87-90	

### Conclusions :

Dans le cas des eaux résiduaires domestiques normalement concentrées, la clariflocculation tertiaire sera envisagée lorsque les concentrations demandées en sortie seront, suivant les paramètres :

DCO < à 60 mg/L

MES < à 15 mg/L

PT < 1,5 mg/L

## ANNEXE 2 : ESTIMATION DES CONCENTRATIONS MINIMALES ENVISAGEABLES EN SORTIE DE CLARIFLOCCULATION EN TRAITEMENT TERTIAIRE A PARTIR D'UNE EAU USEE DOMESTIQUE NORMALEMENT CONCENTREE

Les niveaux de rejet escomptés en tertiaire par le procédé clariflocculation pour les différents paramètres sont étroitement liés entre eux, comme le montre le tableau ci-dessous.

Sur la base d'une concentration en MES de sortie tertiaire de l'ordre de 8 à 10 mg/L de MES :

Paramètres	Les différentes fractions en sortie en mg/L			Valeur totale basse envisageable en sortie en mg/L
	Part liée aux MES	Fraction non biodégradable (part réfractaire)	Fuite sous forme soluble	
<b>DCO</b>	$8 \times 1,2 = 9,6$	30 à 35	$2 \text{ mg DBO}_5 \times 2,4 = 4,8$	<b>45 à 55</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	$8 \times 0,5 = 4$	-	1 à 2	<b>5 à 7</b>
<b>PT</b>	$8 \times 4,5\% = 0,36$	-	0,2 à 0,3	<b>0,6 à 0,7</b>
<b>NK</b>	$8 \times 50\% \text{MVS} \times 9\% = 0,36$	$70 \times 2\% = 1,4$	2	<b>4</b>

**71**

Le clarifloculateur en position tertiaire permet :

- Une réduction du phosphore et plus particulièrement des ortho-phosphates par l'ajout des sels métalliques,
- Une réduction des MES pouvant atteindre une concentration résiduelle de 8 mg/L (avec 50% de MVS). Cet abattement des MES permet également une réduction des paramètres constitutifs de la biomasse.

La mise en place d'un clari-floculateur doit être envisagée lorsque les niveaux de rejet demandés sont faibles, en particulier :

- Pour le paramètre phosphore, lorsque les valeurs demandées sont inférieures à 1,5 mg/L (le clarifloculateur a une action sur les ortho-phosphates et sur le P particulaire grâce à l'abattement des MES)
- Pour le paramètre DCO avec des valeurs en MES < à 15 mg/L et en DCO < à 60 mg/L

Ainsi, en sortie de clari-floculateur, les concentrations envisageables sont les suivantes :

DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	NGL	PT
45 à 55 mg/L	5 à 7 mg/L	8 à 10 mg/L	9 mg/L	< à 0,8 mg/L

## ANNEXE 3 : NIVEAUX DE REJET DEMANDES POUR LES STEP EQUIPEES D'UN

### TERTIAIRE

Sites	Niveau de rejet			
	DCO	DBO	MES	PT
Metz	100	25	30	1
	75%	90%		90%
Aix-en-Provence	125	25	35	1
	95%	95%	95%	90%
Limoge	90	25	30	2
Divonne	65	22	20	0,8
	75%	86%	90%	90%
Bourg-Bresse <sup>*2</sup>	90	25	30	1
Reims	70	20	30	1
	90%	90%	90%	90% (= 0,6 mg)
Sarreguemine <sup>*3</sup>	75	15	15	2
	100	20 / 25	25 / 30	2
	75%	90%	90%	80%
Marne aval	70 / 75	15 / 25	15 / 25	1,3 / < 1 (6 mois)
Nimes	50	15	20	1
Aurillac <sup>*1</sup>	125	25	35	2
	85%	80%	90%	84%
St Etienne en Dévoluy	70	15 / 25	15 / 25	1,3
Oudar	125	25	35	1

\*1 Aurillac : réhabilitation – argument clarificateur existant limite – facilités (hydraulique, travaux, coûts) de mettre un étage III – en plus traitement du P, durant la phase travaux eaux prétraitées + traité physico-chimique + sécurité si étage biologique doit être By-passé

\*2\* : Bourg : + pluie

\*3 : Sarreguemines – biofiltres sans physico-chimique en I<sup>aire</sup>.

**En orange**, les paramètres qui ont occasionné le choix d'un traitement tertiaire.

## ANNEXE 4 : LES ETAPES DE COAGULATION ET FLOCCULATION

### Caractéristiques des réactifs et des additifs

**Le coagulant :** On utilise des sels métalliques de sulfate d'alumine (alun), le sulfate ferreux ou le chlorure ferrique. Le choix du réactif se fait selon sa facilité de mise en œuvre : les réactifs liquides sont donc préférés bien que plus chers et son rapport performances / prix.

Les performances épuratoires de chaque réactif dépendent essentiellement du pH qui induit la solubilité des précipités :

- Le sulfate d'alumine : pH optimal entre 5,5 et 6,5
- Le sulfate ferreux : pH entre 7 et 8
- Le chlorure ferrique : pH assez faible : 4,5 - 5, mais il reste efficace à pH plus élevé.

Les précipités de phosphates ferriques seraient ceux décantant le mieux, le chlorure ferrique permettrait donc une meilleure épuration. Il est très fréquemment utilisé en Europe pour cette raison. Aux Etats-Unis, l'alun est préféré pour que les eaux traitées contiennent moins de résiduels métalliques (limite de solubilité plus basse). En France, l'ensemble des sites équipés d'un clari-floculateur en tertiaire utilise le  $\text{FeCl}_3$  comme coagulant.

**Le polymère :** Le choix du polymère et du dosage à appliquer dépendent essentiellement de la nature des eaux à traiter (pH), en général ce choix est déterminé par Jar-Test.

Les polymères anioniques sont préconisés pour des eaux fraîches et diluées, les cationiques pour des eaux concentrées et septiques.

Le poids moléculaire du polymère joue un rôle dans le lestage du floc. Il faut que ce poids moléculaire soit assez important pour être capable de capter les MES représentées par des fines et de former un floc gros sans toutefois former des floccs à forte porosité et peu denses qui décantent mal.

En traitement tertiaire, les polymères les plus couramment utilisés sont donc des polymères anioniques à très haut poids moléculaires.

### Caractéristiques des Clarifloculateurs : optimisation de la floculation

**Le lestage par la boue :** La floculation est optimisée par une recirculation en tête de boues prélevées en fond du décanteur. Cette recirculation de la boue permet tout d'abord d'avoir plus de matières dans le décanteur et elle améliore ensuite la capture des MES : les particules vont s'agglomérer lors de leur collision avec les floccs recirculés. Il y a formation du floc autour du floc recirculé. Ces floccs seront alors plus denses et leur vitesse de sédimentation sera augmentée.

**Le lestage par le sable :** La floculation est optimisée par l'apport externe de sable, de densité comprise entre 1,4 et 1,5. Ce dernier sert de noyau pour la formation de floccs qui seront ainsi fortement lestés. Le sable a aussi une fonction d'initialisateur de floculation, les micro-floccs s'agglutinant rapidement autour du sable sous l'effet combiné de l'agitation, favorisant les contacts, et du polymère qui forme des ponts entre le sable et les floccs.

## ANNEXE 5 : CONCENTRATIONS MESUREES EN FER

	% Mesurés	% de Fer dans les MES (Fer/MES)	% de MVS dans les MES (% MVS)	% de PT dans les MES (PT/MES)
Etage secondaire	Boues Activées	2 à 8 %	60 à 66%	
Etage tertiaire	Recirculation des boues	31 %	26%	
	Extraction des boues	25%	30 à 33%	5%
	Sortie tertiaire	20 à 30%	/	3%

### Eau traitée

Sur certaines installations, le taux de traitement en  $\text{FeCl}_3$  n'est pas optimisé et des surdosages en fer sont régulièrement rencontrés (canal de sortie et milieu naturel sur plusieurs centaines de mètres très colorés, boues biologiques rouges).

Une analyse de l'eau traitée en sortie d'un traitement tertiaire connaissant un surdosage avéré de  $\text{FeCl}_3$  a donné sur un échantillon moyen journalier, une concentration en Fer de 1,1 à 1,7 mg/L ; 6 mg/L de MES soit un ratio Fer / MES de 20 à 30%.

74

### Taux limites au niveau du milieu naturel

Le fer fait partie des substances indésirables dans les eaux destinées à la consommation humaine – En annexe 1 - C du décret du 3 janvier 1989 relatif aux code de la santé public les eaux destinées à la consommation humaine la concentration en fer doit être inférieure ou égale à 0,2 mg/L (200  $\mu\text{g/L}$ ).

Aucun taux limite maximal n'est fixé au niveau du milieu naturel.

Par contre un excès de fer, vis à vis du milieu naturel, peut engendrer non pas une pollution chimique, mais une pollution mécanique. En effet les  $\text{Fe}^{3+}$  rejetés vont former des hydroxydes, précipités très fins et donc très colmatant vis à vis du milieu (sédiment, vie aquatique).

*Cette pollution peut être rapprochée des pollutions accidentelles causées par les unités de traitement des eaux potables (apport de Fer + filtration – les eaux utilisées lors des rétro-lavages des filtres, chargées en fer, partent au milieu naturel).*

### Boues Primaires et Tertiaires

Différentes analyses sur les boues physico-chimiques de ces systèmes (25 à 35 % MVS) ont donné des ratios de l'ordre de 25 à 30 % de Fer dans les MES.

Pour les boues de station d'épuration, aucun taux limite maximale en fer n'est fixé. Le Fer ne fait pas partie de la liste des éléments traces métalliques.



**ANNEXE 6 : LISTE (NON EXHAUSTIVE) DES COLLECTIVITES FRANÇAISES EQUIPEES  
DE CLARIFLOCULATEURS EN 2004**

**Actiflo®**

<b>Sites</b>	<b>Configuration</b>	<b>nombre</b>
Achères I et II	Tertiaire + Pluvial	8 + 1
Aurillac	Tertiaire	1
Houplain-Ancoisne	Tertiaire	2
Le Mans	Tertiaire + lavage biof	2 + 1
Reims	Tertiaire	3
Valenton	Tertiaire + Pluvial	3 + 1
Cap d'Agde	Primaire	1
Sarreguemines	Tertiaire + lavage biof	2 + 1
Divonne les bains	Tertiaire + Pluvial	1
Luneville	Lavage biof	1
Maxeville	Tertiaire	3
Toulouse Ginestous	Lavage biof	1
St Maxime	Primaire	2
Cluse	Primaire + lavage biof	2
Boulogne sur mer	Lavage biof	1
etc.		

## Densadeg®

Villefranche-sur-Saône	Primaire + Pluvial + lavage biof.	2 + 1
Flers	Tertiaire	1
Metz	Tertiaire + Pluvial	2 + 1
Limoges	Tertiaire + Pluvial	2 + 1
Tours	Tertiaire	3
Contrexeville	Tertiaire	1
Bourg-en-Bresse	Primaire ou Tertiaire	2
Aix en Provence	Tertiaire + Pluvial	2
Saint Chamond	Primaire + pluvial ou Tertiaire	2
Etampes	Tertiaire	1
Versonnex	Tertiaire	1
Bonneuil	Primaire + pluvial ou Tertiaire Tertiaire	2
Etampes	Primaire	1
Beaufort sur Doron	Primaire + Pluvial	2
Colombes		9
etc.		

76

## Delreb®

Chambéry	Primaire	3
Forges-les-eaux	tertiaire	1

## ANNEXE 7 : RESULTATS DES MESURES SUR SITE

Des mesures sur sites ont été réalisées sur 4 stations différentes équipées des deux principaux procédés.

Les campagnes de mesures se sont déroulées sur plusieurs jours, en fonctionnement « normal » par temps sec. Quand l'installation était équipée de plusieurs files en parallèle, le système a été poussé hydrauliquement par fermeture d'une file lorsque cela était possible.

Densadeg®	A	B
<b>Vitesse ascensionnelle au miroir</b>		
<b>moyen</b>	8 m/h	
<b>maxi</b>	12,5 m/h	
<b>Taux de traitement</b>		
FeCl <sub>3</sub> pur	15 mg/L	15 mg/L
Polymère	0,5 mg/L	1,1 mg/L
<b>Ratio Fe/P</b>	2,5	3,6
<b>Taux de recirculation</b>	4,3 % Qe	
<b>[ boues]</b>	21 g/kg	14,5 g/L
<b>IB</b> en mL/g MVS	85 à 105	160
<b>Concentrations entrée/sortie en mg/L (rdt d'élimination)</b>		
MES	7 / 4,5 (35 %)	18 / 8 (55 %)
P-PO <sub>4</sub>	1,1 / 0,18(83 %)	1,45 / 0,18 (87 %)
PT	1,3 / 0,3 (77 %)	1,95 / 0,65 (67 %)
<b>Remarques</b>	Dé P biologique amont	DéP physico amont non utilisée

<b>Actiflo®</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Vitesse ascensionnelle au miroir</b>		
<b>moyen</b>	18,3 m/h	15 m/h
<b>maxi.</b>	54 m/h	18 m/h
<b>Taux de traitement</b>		
FeCl <sub>3</sub> pur	70 mg/L	16,8 mg/L
Polymère	1 mg/L	1,06 mg/L
	(+ épais ≈ 2g.m <sup>-3</sup> boue)	
<b>Ratio Fe/P</b>	13,8	6,9
<b>Taux de recirculation</b>	11% Qe	10,5 % Qe
<b>[Boues]</b>	/	200 mg/L
<b>Taux de sable</b>	1,3 g.m <sup>3</sup>	1,66 g.m <sup>3</sup>
<b>IB en mL/g MVS</b>	190	110
<b>Concentrations entrée/sortie en mg/L (rdt d'élimination)</b>		
MES	6,25/ 5,3 (19 %)	7,5 / 4,5 (40 %)
P-PO <sub>4</sub>	0,96 / 0,065 (93 %)	0,84 / 0,21 (75 %)
PT	1,1 / 0,19 (84 %)	1 / 0,37 (63 %)
<b>Remarques</b>	Dép biologique amont	Dép physico amont non utilisée

#### VARIATION DE CONCENTRATIONS AU NIVEAU DE LA JOURNEE

##### Pointes horaires en entrée d'installation (sortie réacteur biologique)

Lors de 2 jours de mesures sur site, des pointes hydrauliques de 3 heures consécutives sont échantillonnées en entrée d'installation et analysées :

<b>Site D</b>	<b>Q</b> <b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Vit asc. STP</b> <b>m/h</b>	<b>PT</b> <b>g/L</b>	<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> <b>g/L</b>
<b>1<sup>er</sup> Jour –20h/23h</b>	247	2,9	1	0,85
<b>1<sup>er</sup> Jour –8h/11h</b>	274	3,22	0,96	0,67
<b>2<sup>ème</sup> Jour – 20h/23h</b>	269	3,16	1,55	1,5
<b>2<sup>ème</sup> Jour – 8h/11h</b>	281	3,3	0,72	0,6

Au niveau de la journée, la concentration en PT en entrée d'installation varie de 0,72 à 1,55 mg/L.

Site C	Q m <sup>3</sup> /h	Vit asc. STP m/h	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> g/L
<b>2<sup>ème</sup> Jour –h/h</b>	2565	4,9	0,809
<b>2<sup>ème</sup> –h/h</b>	2245	4,3	1,04
<b>2<sup>ème</sup> –h/h</b>	1515	2,9	1,27
<b>2<sup>ème</sup> –h/h</b>	1640	3,1	1,26
<b>3<sup>ème</sup> Jour –h/h</b>	2520	9,6	0,84
<b>3<sup>ème</sup> –h/h</b>	2417	9,2	0,86
<b>3<sup>ème</sup> –h/h</b>	2120	8,05	0,99
<b>3<sup>ème</sup> –h/h</b>	1070	4,1	0,92

Au niveau de la journée, la concentration en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en entrée d'installation varie de 0,84 à 1,27 mg/L.



- **Deronzier G., Choubert J-M.** Cemagref, Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. 2002, Coll. Document technique FNDAE n°29.
- **Deronzier G., Schétrite S., Racault Y., Canler J.P., Liénard A., Héduit A., Duchène Ph.** Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. 2002, Coll. Documentation technique FNDAE, n° 25.
- **Cemagref**, La décantation lamellaire. 1994, Coll. Documentation technique FNDAE, n° 18.
- **Peyronnard O.**, Traitement tertiaire sur Clarifloculateurs « rapides ». Rapport de stage ingénieur 4<sup>ème</sup> année INSA de Lyon.
- **Duchène P., Vanier C.**, Réflexion sur les paramètres de qualité exigés pour les rejets de stations d'épuration ; Ingénieries n°29 ; p 3 à 16 ; mars 2002.
- **Brun J-M., Maric C., Le Poder N., Binot P., Bacquet G.**, Actiflo process very high speed lamellar settling with microsand (Amman conference), janvier 1996.
- **Boissonnade G., Duchamp I., Le Poder N.**, Optimisation des ouvrages de décantation et d'épaississement : une combinaison innovante et judicieuse; l'eau, l'industrie, les nuisances n° 213.
- **Haarbo A., Dahl C., Rineau S.**, Successful applications, WQI novembre/décembre 1998.
- **Feng-Ying C., Gutshall M., Skradski R.**, Microsand enhanced clarification for wastewater treatment : result from pilot studies in primary, tertiary and CSO applications, Water environment federation (wastewater treatment research) volume 1, octobre 1998.
- **Gousailles M., Binot P.**, Cutting wet weather pollution of the river Seine, WQI mai/juin 1999.
- **Binot P., Gadbois A.**, Le procédé Actiflo pour la décantation à grande vitesse des eaux résiduaires, Compte rendu du symposium international sur la réhabilitation des cours d'eau en milieu urbain, 1998.
- **Binot P., Delsalle F., Guibelin E.**, Le traitement des eaux de temps de pluie par décantation rapide en floc lesté.
- **Pearson R., Murphy S., Gilroy F.**, A new innovative water and wastewater treatment process.
- **Jimenez B., Chavez A., Hernandez C.**, Alternative for wastewater destined for agricultural reuse, AWT98 – advanced wastewater treatment, recycling and reuse, septembre 1998
- **Dauthuille P.**, Un nouveau décanteur à hautes performances : le DENSADEG; T.S.M.- l'eau 82<sup>e</sup> année n°2, 1988
- **Briat P., Delporte C.**, Le traitement des rejets urbains par temps de pluie au moyen de la décantation lamellaire; l'eau, l'industrie, les nuisances n°182.
- **Vion P., Westrelin J-L.**, Treatment of stormwater in DENSADEG 2D TGV and 4D TGV.
- **Vallance B., Adamus T.** (associated engineering, Calgary), Spent lime as an aid to phosphorus removal.
- **Bridoux G., Villeroux A., Riotte M., Deguin A.**, Optimisation d'un décanteur lamellaire au traitement des eaux pluviales, 1998, version anglaise disponible : Optimised lamellae settling process for run off water treatment, Water Science Technology vol 38, 1998.