

		Densadeg®	Actiflo®
Temps de passage minimum (en minutes)			
Coagulation	de l'ordre de	2	1
Floculation	de l'ordre de	Au moins 2 fois plus long en floculation 4,5 à 5	2 à 3
Décantation	de l'ordre de	15 à 20	4 à 6
Temps de séjour minimum dans l'ouvrage	de l'ordre de	25	8

Puissance de brassage		
Coagulation	de l'ordre de	Besoin de 50% d'efficacité de brassage en plus pour l'Actiflo® par rapport au Densadeg®
Floculation		De 2 à 3 fois plus faible en floculation

La vitesse ascensionnelle ou vitesse de Hazen, exprimée en $m^3/m^2.h$, est obtenue par le ratio du débit de pointe horaire appliqué sur l'ouvrage sur une surface donnée.

En décantation lamellaire, selon la surface retenue, deux vitesses de dimensionnement peuvent être calculées. On parlera de vitesse au

miroir, lorsqu'on tient compte de la surface horizontale du bloc lamellaire, dite standard, et de vitesse STP lorsqu'on tient compte de la Surface Totale Projetée des plaques (cf. Fiche technique n°1 : Rappel des différentes formules utilisées sur ce type d'ouvrage).

	Densadeg®	Actiflo®
Vitesse au Miroir ($m^3/m^2.h$)		
Ordre de grandeur de la vitesse ascensionnelle au miroir maximale de dimensionnement sur le décanteur lamellaire (en m/h) pour une efficacité équivalente et sans rejet « dégradé »		
En primaire	30	100
En tertiaire	30	60
En pluvial seul	40 à 100	140

Tableau 8 – Principaux paramètres hydrauliques de dimensionnement

Les ordres de grandeur annoncés varient en fonction de l'emplacement du procédé dans la filière de traitement.

On observe des vitesses ascensionnelles nettement supérieures sur le procédé Actiflo®. Elles s'expliquent essentiellement par l'utilisation

du micro-sable qui leste fortement les floccs et permet une vitesse de sédimentation des floccs supérieure.

Ceci autorise des vitesses ascensionnelles de dimensionnement plus élevées et des ouvrages plus compacts.

Des vitesses ascensionnelles plus importantes sont rencontrées dans la bibliographie, mais elles sont annoncées « en situation exceptionnelle » ou dans le cas de l'acceptation « d'un rejet dégradé ».

Dans notre configuration en traitement tertiaire avec physico-chimie, la vitesse ascensionnelle au miroir est la référence de dimensionnement hydraulique (avec prise en compte de la surface du bloc lamellaire où circule l'eau - cf. fiche n°1). La vitesse ascensionnelle STP, représentant la vitesse de séparation des particules dans les lamelles, a moins d'intérêt dans notre problématique, les lamelles assurant surtout l'équilibre de la répartition hydraulique sur l'ouvrage.

Consommation de réactifs

En France, le réactif de coagulation le plus communément utilisé est le **Chlorure ferrique (FeCl₃)**. Néanmoins, d'autres réactifs peuvent le remplacer comme par exemple les sels d'aluminium (Polychlorure d'aluminium - AlCl₃ ; Aluminate de sodium – AlO₂⁻Na⁺).

Les doses de réactifs apportées sont principalement fonction du lieu d'insertion de l'ouvrage dans la filière, donc de la concentration en phosphore, en matières colloïdales et décantables à traiter, et de l'abattement escompté.

Ainsi, on notera des quantités plus élevées en coagulant et floculant pour le traitement Primaire et pour le réglage en « période pluvieuse » des ouvrages mixtes (Tertiaire / temps de pluie).

Les ordres de grandeur des taux de traitement de dimensionnement observés sont les suivants, en mg de produit par Litre d'eau à traiter (ou g/m³) :

En traitement primaire	Densadeg®	Actiflo®
FeCl ₃ pur	30 à 50 mg /L	
Polymère anionique	0,5 à 1,5 mg /L *	
Sable (pertes)	/	3 à 6 g /m ³ **

* avec des doses croissantes en fonction des concentrations en particulaire en entrée

** suivant le taux de sable

Tableau 9 – Taux de traitement de dimensionnement en I^{aire}

avec :

1 litre de solution commerciale de FeCl₃
 = 0,41 Litre de FeCl₃ pur
 = 205 g de Fer (soit 14% en poids de la solution commerciale)

(pour une solution commerciale à 41% de FeCl₃ – 34.5% de Fe dans FeCl₃ et Masse Volumique de 1,45 kg/L)

Spécificité du traitement primaire

Selon la filière aval, la dose de réactifs est fonction du traitement souhaité mais un résiduel en orthophosphates est indispensable pour l'activité biologique

En cas d'apport trop important de coagulants, les dysfonctionnements possibles sont dus à :

- Un déséquilibre nutritionnel par une élimination trop élevée de Phosphore sur l'étage (ratio C/ N/P nécessaire à la biomasse à rééquilibrer).
- Une acidification de l'effluent préjudiciable au traitement biologique, en particulier sur des installations où le pouvoir tampon des eaux à traiter est faible.
- Une augmentation de la conductivité.

Un poste fixe d'apport de Chaux peut être installé en complément du traitement primaire. Cet apport est indispensable pour maintenir un pH correct nécessaire au processus de coagulation floculation sur les sites où le TAC est particulièrement faible. En l'absence de compensation du pH et pour des

eaux faiblement tamponnées, l'alcalinité de l'eau diminue et peut devenir un facteur limitant pour les processus de nitrification du procédé biologique aval. (cf. fiche n°2 : Réduction du TAC sur une filière de traitement).

Spécificité du traitement tertiaire et du traitement temps de pluie

Les doses moyennes sont les suivantes :

Densadeg® et Actiflo®	En traitement tertiaire	En traitement temps de pluie
FeCl ₃ pur	10 à 90 mg/L	50 mg/L
Polymère anionique	0,5 à 1,5 mg/L *	
Sable (pertes) pour l'Actiflo®	3 à 6 g/m ³ **	

* avec des doses croissantes en fonction des concentration en particulaire en entrée

** suivant le taux de sable

Tableau 10 – Taux de traitement de dimensionnement en III^{aire} et en temps de pluie

On note des doses plus élevées pour le procédé Actiflo® (valeurs hautes du tableau ci-dessus) qui s'expliquent par la ré-injection de sable lavé suite au passage dans l'hydrocyclone d'où un dosage supérieur pour faciliter la cohésion des particules entrantes avec le sable.

A signaler aussi, une fuite de sable continue avec les boues extraites et l'eau traitée (répartition des pertes de l'ordre de 50/50) qui implique le suivi in-situ de ce paramètre et le « rechargement » régulier en sable de l'ouvrage pour fonctionner à un taux constant. Une perte de sable d'un ratio de 1/1000^{ème} du taux de sable mesuré dans le floculateur est annoncé par le constructeur.

Résultats attendus

Les performances de ces systèmes sont variables et dépendent des doses de réactif apportées, de

la composition des effluents d'entrée (en particulier sur la répartition entre les différentes fractions caractéristiques que sont le particulaire, le colloïdale et le dissous) et du taux de dilution de l'effluent à traiter.

Les performances de traitement escomptées sur ces procédés sont les suivantes :

En Traitement Primaire

Les performances annoncées sont proches voir légèrement supérieures de celles obtenues sur un traitement primaire physico-chimique classique. Le gain est plus en terme de compacité de l'ouvrage.

Concentration (mg/L)	Traitement primaire Physico-chimique classique	
	Rendement	Concentration de sortie (sur la base d'une E.R.U normalement concentrée)
MES	> 75%	< à 65 mg de MES/L
DCO	> 55%	< à 310 mg de DCO/L
DBO	> 55%	< à 130 mg de DBO ₅ /L
NK	proche de 10%	Proche de 65 mg de NTK/L
P _T	variable en fonction du taux de traitement et pouvant atteindre 80%	< à 2,5 mg de PT/L

Tableau 11 – Résultats et performances attendues en traitement Primaire

Ces rendements, légèrement supérieurs au décanteur classique, sont principalement dus à une meilleure optimisation des différents étages

composant le système (brassage, point d'injection, mode d'injection,...).

En Traitement Tertiaire

	Densadeg®	Actiflo®
P-PO₄³⁻	Concentration de sortie en P-PT < 1 mg de PT/L	
P-PT	Concentration de sortie en P-PO ₄ ³⁻ < 0.5 mg/L et Rendement > 80%	
MES	Concentration de sortie en MES < 10 mg/L et Rendement de 60%	
DCO	Abattement de la fraction particulaire seule : Concentration de sortie et rendement fonction de la capture des MES sur l'ouvrage	
DBO₅		
NK		

Tableau 12 – Résultats et performances attendues en traitement III

Ces performances dépendent fortement des doses de réactifs apportées, de la charge en MES et du phosphore à traiter.

En Traitement des eaux de pluie

Pour les eaux de pluies, les performances sont très voisines de celles obtenues en traitement primaire, voir légèrement supérieures, avec des vitesses ascensionnelles annoncées plus importantes. Elles s'expliquent surtout par une fraction particulaire en début d'épisode pluvieux plus élevée qui permet l'obtention d'un abattement plus important. Par contre, au cours de l'épisode pluvieux, cet abattement diminue fortement compte tenu d'un flux de pollution décroissant (et d'une concentration très faible) suite au nettoyage du réseau.

Concentration et production de boues

Concentration des boues extraites

Les concentrations des boues à l'extraction diffèrent fortement entre les deux procédés comme le montre les valeurs rassemblées dans le tableau ci-dessous :

	Densadeg®	Actiflo®*
Primaire	40 - 80 g/L	3 - 10 g/L
Tertiaire	30 - 60 g/L	0,6 - 1,4 g/L
Eaux Pluviales**	35 - 80 g/L	4 - 20

* en sortie de l'hydrocyclone

** suivant la période de l'épisode pluvieux (début/fin)

Tableau 13 – Concentrations des boues extraites des clari-floculateurs

Les concentrations sont liées au flux particulaire entrant et à la technologie retenue:

- Pour le Densadeg®, l'objectif est d'obtenir une concentration de boue donnée dans le floculateur pour permettre un bon contact entre les boues recirculées et les eaux à traiter et faciliter ainsi le piégeage des fines particules. On conseille dans le floculateur une concentration supérieure à 0,5 g/L.

On travaillera avec une hauteur de lit de boue donnée qui permettra de maintenir une quantité de boue nécessaire au procédé, avec un taux de recirculation dépendant de la concentration dans le lit de boue et de l'objectif fixé dans le floculateur.

- La conception de l'Actiflo® est très différente compte tenu de l'utilisation du micro-sable. La boue est évacuée régulièrement puisque l'objectif est de maintenir un taux donné de sable dans le flocculateur et non une concentration en boue. La boue sableuse extraite à la base du clari-flocculateur est recirculée vers un hydrocyclone (fonction de séparation du sable de la boue) avec récupération du sable en sous-verse et évacuation continue des boues en sur-verse. Le bon fonctionnement de l'hydrocyclone nécessite un débit donné (élevé), ce qui entraîne les faibles concentrations observées sur les boues d'extraction. L'objectif est de maintenir un taux de sable donné dans l'ouvrage.

Production de boue

La production de boue sur l'ouvrage de Clarifloculation est fonction de la quantité de MES abattue, de la quantité de $FePO_4$ et de $Fe(OH)_3$ formés ainsi que par les pertes de sable pour l'Actiflo® (le sable extrait avec les boues via les hydrocyclones, représente une quantité inférieure à 5% du poids des extractions d'après le constructeur).

L'utilisation de fortes doses de coagulant voir de surdosages est à l'origine d'importantes quantités de boues produites par production élevée d'hydroxyde ferrique (cf. fiche n°5 : Calcul de la production de boue).

Les productions de boues annoncées sont les suivantes :

Production de boue primaire	Jusqu'à 80% de la quantité de boue totale pour une installation équipée d'une filière boue activée (cas particulier des charges variables). De l'ordre de 75% de la quantité de boue totale pour une installation équipée d'une filière biofiltres.
Production de boue tertiaire	Sur une installation équipée d'une boue activée, de l'ordre de 8 % (temps sec) à 30% (période pluvieuse) de la quantité de boue totale. Sur une installation équipée de biofiltres (avec un étage primaire avec physico-chimique) : de l'ordre de 10% de la quantité de boue totale et peut atteindre 15 à 20% si l'étage primaire fonctionne sans physico-chimique.

Tableau 14 – Production de boues

Les proportions de productions de boue sont uniquement des ordres de grandeur moyens car elles peuvent varier considérablement selon les rendements réels obtenus par étage.

En tertiaire, les différences de pourcentage annoncées s'expliquent principalement :

- Sur une filière boue activée, la production spécifique de boue est plus faible car elle dépend de la charge massique (C_m en kg de DBO_5 appliquée par kg de MVS et par jour), avec une production spécifique de boue (PSB en kg de MVS produite par kg de DBO_5 éliminé et par jour) plus faible pour les faibles C_m (mécanisme d'auto oxydation).

- Sur une filière biofiltration, la production de boue à l'amont du traitement biologique est plus élevée pour les raisons suivantes : présence systématique d'un traitement primaire avec ou sans réactifs physico-chimiques et d'un procédé biologique intensif d'où une Charge volumique importante ce qui entraîne une production spécifique de boue (PSB) plus élevée.

- La conception de l'Actiflo® est très différente compte tenu de l'utilisation du micro-sable. La boue est évacuée régulièrement puisque l'objectif est de maintenir un taux donné de sable dans le flocculateur et non une concentration en boue. La boue sableuse extraite à la base du clari-flocculateur est recirculée vers un hydrocyclone (fonction de séparation du sable de la boue) avec récupération du sable en sous-verse et évacuation continue des boues en sur-verse. Le bon fonctionnement de l'hydrocyclone nécessite un débit donné (élevé), ce qui entraîne les faibles concentrations observées sur les boues d'extraction. L'objectif est de maintenir un taux de sable donné dans l'ouvrage.

Production de boue

La production de boue sur l'ouvrage de Clariflocculation est fonction de la quantité de MES abattue, de la quantité de $FePO_4$ et de $Fe(OH)_3$ formés ainsi que par les pertes de sable pour l'Actiflo® (le sable extrait avec les boues via les hydrocyclones, représente une quantité inférieure à 5% du poids des extractions d'après le constructeur).

L'utilisation de fortes doses de coagulant voir de surdosages est à l'origine d'importantes quantités de boues produites par production élevée d'hydroxyde ferrique (cf. fiche n°5 : Calcul de la production de boue).

Les productions de boues annoncées sont les suivantes :

Production de boue primaire	Jusqu'à 80% de la quantité de boue totale pour une installation équipée d'une filière boue activée (cas particulier des charges variables). De l'ordre de 75% de la quantité de boue totale pour une installation équipée d'une filière biofiltres.
Production de boue tertiaire	Sur une installation équipée d'une boue activée, de l'ordre de 8 % (temps sec) à 30% (période pluvieuse) de la quantité de boue totale. Sur une installation équipée de biofiltres (avec un étage primaire avec physico-chimique) : de l'ordre de 10% de la quantité de boue totale et peut atteindre 15 à 20% si l'étage primaire fonctionne sans physico-chimique.

Tableau 14 – Production de boues

Les proportions de productions de boue sont uniquement des ordres de grandeur moyens car elles peuvent varier considérablement selon les rendements réels obtenus par étage.

En tertiaire, les différences de pourcentage annoncées s'expliquent principalement :

- Sur une filière boue activée, la production spécifique de boue est plus faible car elle dépend de la charge massique (C_m en kg de DBO_5 appliquée par kg de MVS et par jour), avec une production spécifique de boue (PSB en kg de MVS produite par kg de DBO_5 éliminé et par jour) plus faible pour les faibles C_m (mécanisme d'auto oxydation).

- Sur une filière biofiltration, la production de boue à l'amont du traitement biologique est plus élevée pour les raisons suivantes : présence systématique d'un traitement primaire avec ou sans réactifs physico-chimiques et d'un procédé biologique intensif d'où une Charge volumique importante ce qui entraîne une production spécifique de boue (PSB) plus élevée.



Les résultats abordent uniquement le traitement tertiaire car son dysfonctionnement a des conséquences immédiates sur le non-respect des rendements escomptés et donc sur la qualité des eaux rejetées. Par contre, l'étude du traitement primaire (à l'exception de l'analyse des dossiers de dimensionnement) n'a pas été retenue car, lors de périodes d'anomalie du traitement, l'étape de traitement secondaire aval de type biologique permet de réduire fortement ce dysfonctionnement sur la qualité des eaux rejetées.

LES PERFORMANCES MESUREES EN TERTIAIRE

Les mesures des performances des clari-floculateurs en traitement tertiaire se sont déroulées sur quatre installations différentes

	DCO*	DBO ₅ *	MES*	NGL**	PT**
Concentration (mg/L)	65 à 125	20 à 25	20 à 35	10 à 15	0,8 à 1
Rendement (%)	75 à 95	90 à 95 %	90 à 95 %	90 à 95	90

* en moyen journalier

** en moyenne annuelle

Tableau 15 – Qualité de l'effluent demandée pour les sites étudiés

De plus, les sites doivent répondre aux deux contraintes concentration et rendement (exigence retenue élevée). Des valeurs rédhitoires de concentration pour chaque paramètre sont précisées pour deux installations :

équipées des deux principaux procédés : deux en Densadeg® et deux en Actiflo®.

Les clari-floculateurs suivis sont installés à l'aval d'un traitement biologique de type boue activée, avec ou sans déphosphatation biologique. Ils sont tous dimensionnés pour un traitement mixte temps sec / temps de pluie ce qui signifie qu'hydrauliquement, ils sont sous chargés en temps sec et en temps de pluie, ils traitent sur les sites étudiés les eaux issues de la filière biologique (100 % de sa charge) et le complément retenu sur le tertiaire est assuré par les eaux de temps de pluie après passage par le poste prétraitements.

QUALITE DES EAUX REJETEES ET RENDEMENTS D'ELIMINATION

Les niveaux de rejet demandés en sortie tertiaire des installations étudiées sont les suivants :

- DCO : 90 mg/L ; DBO₅ : 30 mg/L ; MES : 80 mg/L ; NGL : 20 mg/L ; PT : 3 mg/L (cas très exigeant)
- DCO : 250 mg/L ; DBO₅ : 50 mg/L ; MES : 85 mg/L

L'analyse des valeurs de la qualité des eaux demandée peut être pour certain dossier très exigeante voir trop importante en raison des conséquences impliquées et plus particulièrement des coûts d'investissement. A titre d'exemple, l'obtention d'un rendement en DCO totale de 95 % est quasiment impossible compte tenu d'un talon réfractaire (ou DCO dure) de l'ordre de 30 – 35 mg/L ce qui signifie un rejet nul en MES et en DCO biodégradable.

Le choix du traitement tertiaire pour les installations suivies s'explique principalement par le niveau de rejet demandé en Phosphore total, inférieur à 1 mg/L. Dans ces cas, un traitement tertiaire s'avère indispensable. Il faut noter que la notion de rendement de 90% est également un paramètre difficile à tenir sur les installations traitant des eaux usées fortement diluées où les flux à traiter en phosphates sont en nette régression.

Les taux de charge hydraulique des installations suivies lors de nos mesures étaient variables avec deux sites proches de 50 % de leur charge de dimensionnement de temps sec (53 / 64 %) et 2 sites plus proches de leur nominale de temps sec (86% et 105% avec des effluents très dilués).

On observe parfois un niveau de rejet pour le temps sec et un niveau moins poussé pour le temps de pluie. Le passage en temps de pluie est souvent associé à un dosage différent au niveau des réactifs injectés.

Les ouvrages étant dans une configuration Tertiaire, l'effluent à traiter est issu d'un traitement biologique par boue activée.

La fourchette de concentrations mesurées en entrée et sortie sur des prélèvements moyens journaliers proportionnels au débit, ainsi que les performances obtenues, sont les suivantes :

	DCO	MES	PT	PO ₄ ³⁻
Entrée tertiaire en mg/L	23 à 41	5 à 18	1 à 1,95	0,84 à 1,45
Sortie en mg/L	20 à 33	2 à 8	0,18 à 0,65	0,05 à 0,24
Niveau de rejet demandé en mg/L	65 à 125	20 à 30	0,8 à 1	/
Rendement mesuré en %	2 à 35	19 à 55	61 à 84	74 à 94

Tableau 16 – Performances mesurées durant les suivis

On observe à l'entrée du tertiaire le respect des niveaux de rejet demandés à l'exception du PT. Ces résultats confirment bien le créneau d'application du traitement tertiaire (réduction des phosphates et des MES). En poussant l'analyse et plus particulièrement l'impact du phosphore sur le milieu récepteur, ce sont les orthophosphates qui interviennent sur les mécanismes d'eutrophisation et la valeur de 1 mg de PT/L est composé principalement de Phosphore constitutif lié à la perte de MES (20 mg de MES /L à l'entrée tertiaire avec 4,5 % de P /g de MES apporte 0,9 mg de PT /litre). Dans certains cas, la réflexion pourrait être menée sur les orthophosphates (et non sur le PT) et sur les MES, DCO et DBO₅ limite.

Les concentrations des eaux d'entrée dépendent essentiellement du traitement biologique situé à l'amont. On remarque de faibles concentrations en particulaire (MES) malgré des Indices de Boue variant de 85 à 190 mL/g, qui illustrent le bon

dimensionnement des clarificateurs secondaires amont. Cette bonne rétention du particulaire est confirmée par les concentrations en Phosphore total mesurées. Les concentrations d'entrée tertiaire en orthophosphate sont également peu élevées suite à l'utilisation d'une déphosphatation biologique sur certains sites, mais pas toujours suffisante pour pouvoir se passer de l'étage tertiaire. Rappelons qu'une boue activée avec déphosphatation biologique associée à une co-précipitation permet d'atteindre des concentrations de 0,2 à 0,3 mg de P-PO₄³⁻/L.

Les concentrations des eaux de sortie sont également faibles avec des rejets en moyen journalier inférieurs à 0,65 mg/L de PT et sont conformes aux niveaux de rejet demandés.

Au niveau des rendements obtenus, leur variabilité est essentiellement due :

- Aux faibles concentrations en MES et en PT d'entrée,
- Et aux paramètres de fonctionnement de l'ouvrage, comme le taux de chlorure ferrique apporté, le taux de sable ou de boue, qui

dictent directement le rendement d'élimination en $P-PO_4^{3-}$.

Après un traitement tertiaire bien dimensionné et optimisé, les concentrations attendues en sortie sont de l'ordre de :

	DCO	MES	PT
Niveaux de rejet escomptés en mg/L	< à 40 - 45	7 – 10	< 0,8

Tableau 17 – Concentrations attendues en sortie de traitement tertiaire

CONCENTRATION ET PRODUCTION DE BOUES

Les concentrations mesurées à l'extraction des boues de l'étage tertiaire sont les suivantes :

	Densadeg®	Actiflo®*
Concentration en MES en g/L	20 à 34	0,2 à 1,06
Taux de MVS en %	30 à 49	20 à 33

* en sortie des hydrocyclones

Tableau 18 – Concentrations mesurées des boues extraites des clari-floculateurs

Les différences observées sont inhérentes au procédé :

- Sur le Densadeg®, les boues sont concentrées en fond du décanteur lamellaire équipé d'une herse. La concentration des boues extraites va donc dépendre du taux de recirculation en tête de l'ouvrage et de son aptitude à l'épaississement.
- Pour l'Actiflo®, l'extraction des boues est continue via les hydrocyclones, il n'y a pas de phase d'épaississement au sein de l'ouvrage. Les variations sont dues au flux de MES éliminées et au flux de précipité lié à l'apport de coagulant.

Les taux de MVS très bas sont liés au procédé physico-chimique accentué par des boues (MES à l'entrée de l'ouvrage) bien minéralisées. La teneur en fer présent dans ces boues tertiaires a également été mesurée, le ratio Fe / MES se situant entre 16 et 40 %.

Le suivi de la production de boue a été réalisé par l'échantillonnage en entrée / sortie de l'étage de traitement (rétention des MES et élimination des orthophosphates), par le suivi des extractions des boues tertiaires et des taux de traitement appliqués à l'étage ; la hauteur du lit de boue et la concentration en boue dans le floculateur étant constant (cf. fiche n°5 : Calcul de la production de boue).

Ils donnent, pour le procédé une production spécifique de boue tertiaire de l'ordre de 17 à 55 kg de MES / kg de $P-PO_4^{3-}$ éliminé.

Sites	Production spécifique de boue tertiaire	
	kg de MES extraites / kg de P-PO ₄ ³⁻ éliminé	g de MES extraites / m ³ d'eau traitée
A	17 à 18	16 à 17
C	50 à 55	45 à 50
D	32,5	20
Moyenne	35	28

Tableau 19 – Productions spécifiques de boue mesurées

On note une très forte variabilité des résultats car cette production est très dépendante de la qualité des eaux d'entrée (traitement plus ou moins poussé à l'amont), et surtout du taux de coagulant réellement appliqué (cf. fiche n°6 : Conséquence d'une mauvaise optimisation du dosage de coagulant sur la production de boue).

En général, pour le Densadeg®, la production de boue tertiaire est composée en moyenne de :

- 20% des MES retenues sur l'ouvrage
- 75% de boues physico-chimiques (FePO₄ et Fe(OH)₃)
- et de 5 % de polymère

Pour le procédé Actiflo®, cette production de boue est supérieure du fait d'une perte continue de sable avec les boues via l'hydrocyclone, de l'ordre de 2,5 g/m³ d'eau traitée. Durant nos suivis, cette production spécifique est à augmenter de 10 à 15% par la fuite de sable dans les boues en excès.

Les productions de boues calculées sur l'étage tertiaire sont ramenées à la production de boue totale des installations. Ainsi les productions de boues de l'étage tertiaire sont de l'ordre de 7 à 25% de la production de boue totale de la station d'épuration, sans boue primaire.

ANALYSE DES PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

ASPECT HYDRAULIQUE ET DETECTION DES LIMITES

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 une journée par fermeture d'une file lorsque cela était possible pour se rapprocher de la vitesse de pointe retenue.

Les vitesses ascensionnelles au miroir mesurées durant les suivis sont résumées ci-dessous :

Vitesse ascensionnelle au miroir en m/h	Densadeg®	Taux de Charge	Rappel du dimensionnement Temps de pluie	Actiflo®	Taux de charge	Rappel du dimensionnement Temps de pluie
Moyenne	8 à 9	30%	29	15 à 18	20%	77 à 88
Maximales	14,7	50%		54	60%	

Tableau 20 – Vitesses ascensionnelles mesurées lors des suivis

Les essais sont réalisés avec des charges hydrauliques à traiter nettement inférieures à celle prévues au dimensionnement, ceci même en fermant une file lorsque cela était possible.

A ces charges hydrauliques maximales mesurées, aucune différence de qualité du rejet n'est observée en comparaison des mesures à débit plus faible. La qualité des eaux rejetées est largement conforme aux exigences demandées.

Durant les mesures, les résultats d'hydraulique maximale obtenus sur les sites sont uniquement des tendances spécifiques. En effet, les installations existantes sont rarement à leur charge hydraulique de dimensionnement (Q pointe de Temps sec) et les véritables épisodes pluvieux sont de courte durée et donc difficiles à mesurer.

Les visites de nombreux sites montrent des pertes de fines variables en durée :

- Lors du passage d'un temps sec en temps de pluie,
- Suite à un nettoyage du système,
- Et lors d'un colmatage d'une partie du module principalement par les algues.

De plus, les limites d'hydraulique maximale sont spécifiques à chaque site étudié. En effet, la qualité du rejet pour une vitesse ascensionnelle donnée dépend énormément de l'état de fonctionnement du système au moment de cette pointe, avec en particulier :

- La quantité de floc formé et son état de maturation (taille du floc),
- Le taux de traitement appliqué et son asservissement,
- Le taux de sable ou taux de boue effectif dans l'ouvrage et plus particulièrement au niveau du flocculateur,
- Le degré d'encrassement ou de colmatage du bloc lamellaire,
- Le flux de particulaire à traiter et ses caractéristiques...

Ainsi, des valeurs de limites hydrauliques pour chaque système n'ont pas pu être arrêtées, l'état et l'historique du système étant prépondérants.

En exemple, les données d'auto surveillance sur une période de deux années consécutives d'une installation équipée d'un clari-flocculateur en tertiaire permettent l'illustration suivante :

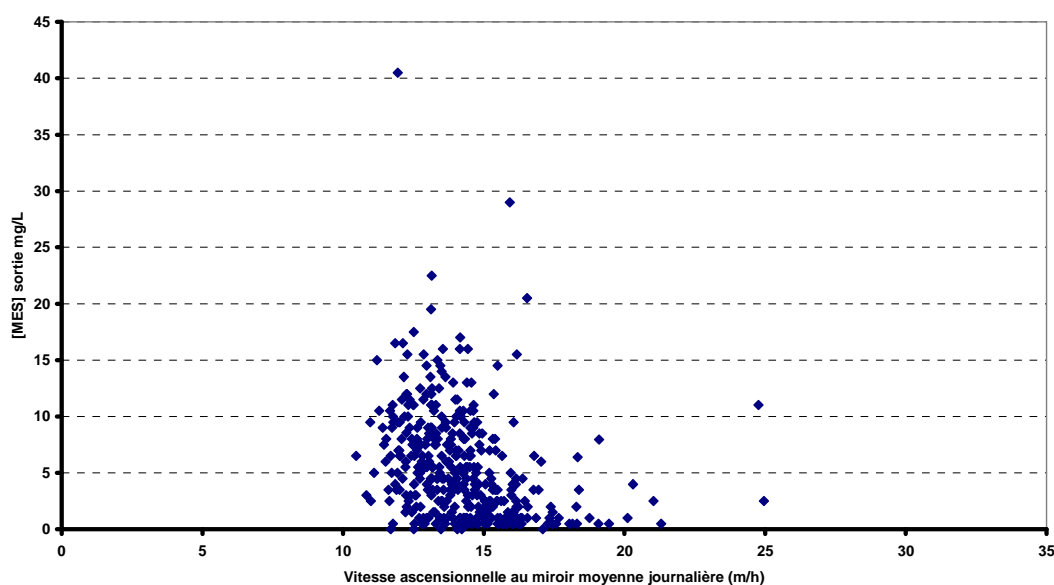


Figure 2 – Concentration moyenne journalière en MES de sortie en fonction de la vitesse au miroir moyenne journalière

Pour ce site, la vitesse ascensionnelle au miroir de dimensionnement retenue est de 29 m/h en pointe de temps de pluie (21 m/h en pointe de temps sec) avec une qualité d'eau de sortie en MES de 35 mg/L en moyenne journalière.

On observe que la dispersion des points obtenus (MES de sortie) n'est pas en relation avec la gamme de vitesse ascensionnelle appliquée. Des débits importants sur une durée de 24 heures sont inexistantes et les paramètres de fonctionnement de l'étage varient dans le temps et influent sur la qualité du rejet.

Il est à noter que le dépassement des limites hydrauliques de l'ouvrage sur une courte durée (de l'ordre de l'heure) peut induire une dégradation des rejets qui est difficile à mettre en

évidence au niveau du prélèvement moyen journalier de sortie (dilution des prélèvements de pointe sur 24 heures).

Cette dégradation ponctuelle du rejet durant la journée a été observée lors de nos mesures par le suivi des enregistrements en continu de la turbidité, des phosphates et de la DCO. La turbidité et la DCO augmentent au sein de la journée avec les débits traités accompagnés de pics de rejets en phosphate.

En deuxième exemple, un clari-floculateur a été instrumenté pour son suivi spécifique en période de fonctionnement de la file orage (vitesse ascensionnelle élevée). Les résultats obtenus au niveau de l'épisode pluvieux et non de la journée sont regroupés sur la figure suivante :

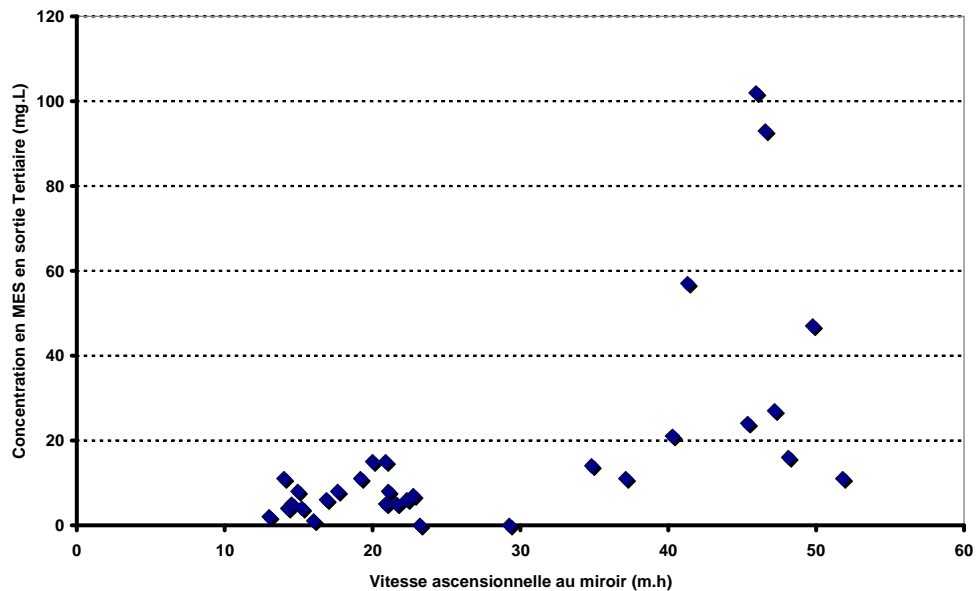


Figure 3 – Concentration ponctuelle en MES de sortie en fonction de la vitesse ascensionnelle au miroir

Pour ce site, la vitesse ascensionnelle au miroir de dimensionnement retenue est de 77 m/h en pointe d'orage, avec une qualité d'eau de sortie en MES de 20 mg/L en moyenne journalière.

On observe, sur ce site, une nette dégradation du rejet au niveau des MES lorsque les vitesses ascensionnelles augmentent. La gamme suivie en période pluvieuse est de 35 à 55 m/h au miroir et correspond au fonctionnement hydraulique maximum de l'installation.

La dispersion des points obtenus pour cette même gamme de vitesse est à rapprocher des paramètres de fonctionnement qui varient dans le

temps comme la charge particulaire à traiter suivant l'épisode pluvieux, le taux de sable effectif dans l'ouvrage, la durée de la pointe hydraulique, le taux traitement,....

CHARGE PARTICULAIRE APPLIQUEE : COMPOTEMENT FACE A UNE PERTE DE BOUES (/ MES)

Deux essais successifs ont été réalisés pour tester l'impact d'une perte de boue du clarificateur secondaire sur le clari-floculateur tertiaire. Les essais sont réalisés avec pompage continu de boues du bassin d'aération vers l'alimentation du

tertiaire, avec une alimentation proche de 50 mg/L de MES durant plus de quatre fois le temps de séjour dans l'ouvrage, simulant ainsi

une perte accidentelle mais continue des boues. Les résultats obtenus sont les suivants :

	1 ^{er} essai			2 ^{ème} essai		
	Entrée	Sortie	Rendement	Entrée	Sortie	Rendement
MES en mg/L	48	8	83 %	50	6	88%
DCO en mg/L	65	< 30	> 54%	70	< 30	< 57%
PT en mg/L	1,7	0,42	75%	1,45	0,25	83%
P-PO ₄ ³⁻ en mg/L	0,88	0,18	79%	0,26	0,08	69%
ratio P-PO ₄ ³⁻ / PT	51,8	42,9		17,9	32	
Vitesse au miroir	15 m/h			17 m/h		
Temps de séjour	42 mn.			38 mn.		
Taux de traitement	15 g de FeCl ₃ pur / m ³ d'eau traitée 1 g / m ³					
Coagulant FeCl ₃						
Polymère						

Tableau 21 – Résultats des essais de pertes de MES du clarificateur

Les rendements d'abattement sont excellents et confirment l'efficacité de ces systèmes lors de pertes accidentelles de boue.

Les mesures et l'observation des eaux traitées ne montrent aucune dégradation pour des faibles vitesses ascensionnelles (17 m/h au miroir pour 77 m/h de dimensionnement en temps de pluie).

Le clarificateur permet une sécurité vis à vis du milieu récepteur pour des pertes de boues de l'ordre de 50 mg/L de MES.

La visite de différents sites nous a permis de confirmer ce comportement face aux pertes de MES, certains exploitants utilisant volontairement cette sécurité lors de travaux temporaires sur les clarificateurs secondaires à l'amont ou pour l'évacuation des flottants (boues en anaérobies dues essentiellement à une dénitrification sauvage) en surface de ces clarificateurs.

Ce type de fonctionnement induit par contre la présence importante de flottants en surface de la zone de tranquillisation qu'il faut évacuer régulièrement.

Par contre le fonctionnement des clari-floculateurs peut être perturbé lors des épisodes de dysfonctionnement biologiques : IB élevé, vitesse de décantation moindre pénalisant la décantation des floccs au sein de l'ouvrage.

Pour une installation où l'ouvrage était à l'arrêt (fonctionnement en traversier uniquement) des difficultés très importantes sont rencontrées lors du démarrage pour obtenir un floc bien formé.

PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT ET REGLAGES SPECIFIQUES

Les réglages des principaux paramètres de fonctionnement du process sont synthétisés ci-après :

Taux de boue, de recirculation et de sable

	mesuré	préconisé
Taux de Recirculation (Densadeg®) (Actiflo®)	4,3% du débit entrant 10 à 11% du débit entrant	2 à 5% du débit de pointe 6% du débit de pointe
Densadeg® : Taux de boue dans le flocculateur	0,4 à 0,7 g/L	0,5 g/L
Actiflo® : Taux de sable dans le décanteur	1,3 à 1,7 kg/m ³	2 à 4 kg/m ³

Tableau 22 – Paramètres de fonctionnement durant nos mesures

La recirculation des boues ou du sable est asservie au débit entrant ou traité par le fonctionnement soit d'une ou des pompes à débit variable pour le procédé Densadeg® ou de une ou plusieurs pompes pour le procédé Actiflo®. Pour ce dernier, un débit donné doit être appliqué sur l'hydrocyclone pour permettre la bonne séparation du sable et de la boue.

Les taux de recirculation observés sont supérieurs à ceux préconisés et s'expliquent par le fonctionnement en sous-charge hydraulique des sites.

Les quantités de boues dans le flocculateur sont suffisantes, par contre les taux de sable mesurés

sont inférieurs à ceux préconisés. Ces faibles taux n'ont pas eu d'influence sur les performances du système du fait des débits d'alimentation durant les suivis très inférieurs aux limites hydrauliques (50 à 60% du dimensionnement).

Consommation de réactifs

Le fonctionnement des clari-flocculateurs nécessite l'apport continu de coagulant et de flocculant. Ceux ci sont asservis le plus souvent au débit traité.

Lors de nos mesures en fonctionnement « normal » par temps sec, les apports de réactifs, ou taux de traitement, étaient les suivants :

	FeCl ₃ pur	Polymère anionique
Taux de traitement	De 15 à 70 mg/L	De 0,5 à 1,1 mg/L
Ratio molaire Fe/P	2,5 à 13,8	/

Tableau 23 – Taux de traitement mesurés lors des suivis

Le coagulant utilisé sur l'ensemble des sites (mesuré et visité) est toujours le chlorure ferrique. Les taux de traitement mesurés correspondent plus ou moins aux valeurs de consigne entrées dans l'automate de gestion du procédé. On note souvent une absence d'optimisation de ce poste pourtant fortement conseillée.

La plage de variation présentée reflète bien la diversité des objectifs retenus par l'exploitant et du fonctionnement des sites. En effet, le taux de traitement découle du rendement de déphosphatation désiré sur l'étage et donc du

ratio molaire Fe / P visé. On note des taux appliqués proches de ceux préconisés par le constructeur (en particulier lors du dimensionnement), avec des valeurs extrêmes de 70 mg de FeCl₃ pur /L qui impliquent un ratio molaire Fe/P de 13,8 et des rendements sur le phosphore supérieurs à 92% avec une concentration résiduelle en fer au rejet importante qui se traduit par une légère coloration du milieu récepteur. Sur ce site, l'apport en FeCl₃ n'est pas adapté à la concentration en P entrant, une réduction des doses doit être réalisée par l'exploitant.

Le polymère utilisé sur ces ouvrages en tertiaire est toujours un polymère anionique, à poids moléculaire important, de fournisseur variable suivant le site. Son choix a généralement été réalisé suite à des tests en jar-test effectués parallèlement par le fournisseur et l'exploitant.

La plage des taux de traitement mesurés est nettement plus faible que pour le coagulant. Les consignes sont plus homogènes entre les sites et restent généralement dans la gamme 0,5 à 1,2 mg/L, soit légèrement plus faible que celle préconisée par les constructeurs.

Remarque :

REPARTITION DE L'APPORT DE $FeCl_3$ ENTRE LE BASSIN D'AERATION ET LE TERTIAIRE

De nombreuses installations équipées d'un traitement tertiaire physico-chimique sont également dimensionnées pour effectuer une co-précipitation du phosphore au sein du bassin d'aération (contrainte poussée en phosphore du rejet, stockage du $FeCl_3$ sur le site).

La répartition de l'apport de coagulant entre le bassin d'aération et le traitement tertiaire est toujours difficile à trancher pour l'exploitant.

Ainsi, l'apport de $FeCl_3$ doit être prioritairement réalisé dans le bassin d'aération :

- En effet, à ce stade du traitement, la concentration en $P-PO_4^{3-}$ est plus importante qu'en entrée tertiaire, l'abattement de phosphore sera donc plus élevé pour une quantité moindre de produit apporté.
- Le bassin d'aération « joue » un rôle tampon beaucoup plus important que le clarifloculateur en tertiaire (temps de séjour très court sur ces ouvrages). Le $FeCl_3$ non utilisé immédiatement permet de faire face à une variation de charge à venir.
- Enfin, une co-précipitation permet un gain de l'IB de 10 à 30 points, toujours appréciable pour une bonne clarification à l'aval et une sécurité vis à vis du rejet au milieu naturel.

La répartition entre les deux ouvrages est alors un compromis pour chaque site suivant les concentrations en MES et $P-PO_4^{3-}$ mesurées et voulues en entrée de traitement Tertiaire. Sur les sites visités, différents réglages ont été observés :

- 3/4 dans le Bassin d'Aération - 1/4 en traitement tertiaire
- 2/3 dans le Bassin d'Aération - 1/3 en traitement tertiaire
- 1/2 dans le Bassin d'Aération - 1/2 en traitement tertiaire

Des réglages avec un apport supérieur au niveau du bassin d'aération (les 2 premiers cas) semblent aller vers une meilleure optimisation du système de traitement.

Il est à noter que les retours en tête des eaux du traitement des boues peuvent être « riches » en fer et jouer le rôle de co-précipitation lors des surdosages avérés sur l'étage tertiaire et occasionné une déphosphatation physico-chimiques partielle sur l'étage biologique.

FONCTIONNEMENT OCCASIONNEL DE L'OUVRAGE

On observe souvent que la mise en place d'un tertiaire est liée à l'objectif traitement du phosphore et à l'affinage des MES. Sur un certain nombre d'installations en fonctionnement, les niveaux de rejets lors du temps sec sont déjà atteints en raison du taux de charge hydraulique et de la dilution. Deux possibilités de fonctionnement doivent être envisagées : le by-pass de l'étage ou l'utilisation de l'ouvrage uniquement en traversier.

La gestion de l'arrêt occasionnel de l'ouvrage est différente selon le procédé retenu, mais cette gestion doit être envisagée compte tenu des consommations importantes des réactifs et des productions de boue qui en découlent. Si les niveaux de rejet sont toujours respectés, l'ouvrage pourra être isolé et mis à l'arrêt.

Fonctionnement occasionnel					
	Arrêt en Période de temps sec :				Marche en Temps de pluie
	Densadeg®		Actiflo®		Densadeg® / Actiflo®
	Traversier	By passé	Traversier	By passé	
Asservissement du dosage des réactifs	Dosage occasionnel ou très limité en fonction de l'état du floc	Non conseillé (dégradation de l'état de fraîcheur de la boue)	Arrêt	Arrêt	Oui Dosage variable et fonction des objectifs recherchés
Agitateurs	Marche		Arrêt	Arrêt	Marche
Recirculation du Sable	/		Arrêt et stockage du sable au niveau du flocculateur	Arrêt et stockage du sable au niveau du flocculateur	Oui
Recirculation des boues	Marche		Pompage occasionnel pour évacuer les MES décantées	Arrêt	Marche

Tableau 24 – Gestion de l'arrêt occasionnel des clari-floculateurs

Pour l'Actiflo®, un fonctionnement en traversier est préféré au by-pass complet sur les grosses installations si le redémarrage de l'ouvrage est attendu. En effet, les bonnes performances de l'étage sont plus rapidement atteintes dans cette configuration de fonctionnement, l'ouvrage étant déjà rempli en « eau traitée ». Par contre, pour les sites nettement sous chargés, où le niveau de rejet est déjà atteint à l'entrée du tertiaire, le by-pass complet de l'étage, avec vidange de l'ouvrage, est préconisé pour des contraintes d'exploitation inutiles.

RAPPELS DES PRINCIPAUX PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT ET D'EXPLOITATION

Les principaux paramètres de fonctionnement et d'exploitation du procédé clarifloculation, insérés en traitement primaire ou tertiaire, sont synthétisés ci-après.

	Densadeg®	Actiflo®
Taux de recirculation Objectif : Concentration en boue ou en sable donnée dans le flocculateur pour piéger au maximum les particules entrantes.		
Débit recirculé	Continu pour ramener de la boue Q variable et asservi au Q entrant 2 à 5 % du Q pointe	Continu pour ramener du sable Q constant et fonction du nombre d'hydrocyclone en fonctionnement 6 % du Q pointe
Lieu d'injection des réactifs et mode d'asservissement Objectif : abattement du P et des MES		
Coagulant (FeCl₃)	A l'amont des boues recirculées (directement dans la canalisation ou dans le bassin de coagulation) - Asservi au débit entrant voir au flux de phosphate à traiter	En amont ou en surface de la cuve de coagulation - Asservi au débit entrant voir au flux de phosphate à traiter
Polymère anionique	Sous l'hélice du flocculateur par l'intermédiaire d'un tore de distribution. Une seconde injection est possible dans la canalisation de la recirculation des boues. Asservi au débit entrant	En entrée ou en sortie de la cuve d'injection. Asservi au débit entrant voir au flux de MES
Sable	-	A l'entrée de la cuve d'injection grâce à la sous verse de l'hydrocyclone Complément : Apport manuel en entrée de la cuve d'injection ou de coagulation
Extraction des boues et mode d'asservissement Objectif : Concentration en boue ou en sable donnée dans le flocculateur		
Extraction des boues	Discontinues, extraction fonction soit : - d'une durée déterminée tous les x m ³ d'eaux traités ou sur horloge. - extraction sur hauteur du lit de boues dans le décanteur.	Continues et à débit constant – possibilité de varier le nombre d'hydrocyclone en fonctionnement suivant le débit à traiter. Les faibles concentrations nécessitent un épaissement spécifique avant la filière boue.

EQUIPEMENTS EN OPTION

	Densadeg®	Actiflo®
Option	Mesure continue de la hauteur du voile de boue.	Mesure continue du taux de sable (en développement).
	Turbidimètre en sortie Analyseur de P-PO ₄ ³⁻ en ligne en entrée et/ou sortie d'ouvrage Préleveur automatique en entrée d'ouvrage (existe en sortie)	

Il est à noter que peu de sites sont équipés de préleveur automatique en entrée d'ouvrage. Il convient d'étudier à l'entrée du tertiaire l'évolution des paramètres clés pour le procédé en particulier pour l'évolution au cours de la journée des orthophosphates et des MES d'où la mise en place d'un préleveur portable. Puis, dans le temps, les analyses chimiques pourront être réalisées sur des échantillons ponctuels et comparés avec les courbes types obtenus avec l'échantillonneur. Elles permettront d'identifier une éventuelle évolution des charges en phosphore et en particulaire à traiter sur l'ouvrage et aideront ainsi à l'optimisation du procédé par une meilleure adéquation des taux de traitement.

Les principaux paramètres de réglage accessibles à l'exploitant pour optimiser le fonctionnement du procédé sont donc les suivants :

- **Dosage du coagulant et du floculant**, c'est à dire le taux de traitement (cf. fiche n° 3 : calcul de la dose de coagulant à apporter).
- **Maîtrise d'un taux de sable constant** dans l'Actiflo® et d'un taux de boue constant dans le floculateur.
- **Réglage de la fréquence des extractions** de boue pour le Densadeg® afin de maintenir un taux de boue constant dans le floculateur et éviter aussi l'engorgement de l'ouvrage par un niveau de boue trop important (proche des lamelles) avec des risques de pertes de boue...

Une part importante du diagnostic de fonctionnement des clari-floculateurs en tertiaire est réalisée en exploitation par l'observation

visuelle de la boue et du rejet au milieu naturel lors du contrôle journalier de l'ouvrage.

En effet, l'aspect du floc (sa couleur, sa taille et ses mouvements au sein de la cuve de maturation), ainsi que l'aspect de l'eau traitée, (sa couleur, sa turbidité, les pertes de fines) donnent une indication essentielle sur le dosage des réactifs et donc sur ses performances.

PRINCIPALES DIFFICULTES RENCONTREES ET PROPOSITIONS DE RECOURS

Les principales difficultés observées sur les sites sont listées ci-après suivant trois grands groupes : difficultés dues à la conception, difficultés d'exploitation et celles inhérentes à l'asservissement.

EN CONCEPTION

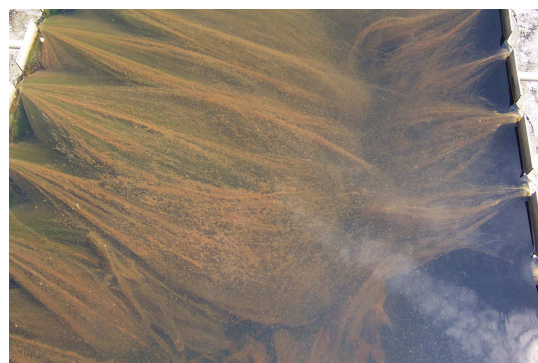
Apport des coagulants, floculants et sables :

- Le chlorure ferrique, utilisé comme coagulant sur ces ouvrages, est un produit corrosif. Sur certains sites, les canalisations d'origine en inox ont rapidement été remplacées par des canalisations en PEHD suite à leur corrosion au FeCl₃.
- Le poste « Préparation du polymère » doit être optimisé pour son exploitation aisée, sa surveillance et sa maintenance. De même, la zone et le volume de stockage du polymère doivent être bien identifiés afin d'éviter au maximum les contraintes de manipulation.

- Pour l'utilisation du sable (Actiflo®), trois principales difficultés de conception sont relevées :
 - Compte tenu du fort pouvoir abrasif du sable, le choix du matériau des canalisations et des pompes et de son diamètre devra bien être pris en compte.
 - Les contraintes de manipulation du sable sur l'installation doivent être minimisées. Sur certains sites, on a pu observer l'absence de lieu de stockage ou un accès difficile aux ouvrages (présence d'escaliers, espace restreint au niveau de la cuve d'injection). Un choix en fonction du site entre la manipulation de sacs de 25 Kg et celle de big-bag est à faire dès le stade projet et des aménagements sont maintenant proposés dès l'origine pour faciliter cet apport (mise en place d'une trémie équipée d'une vis doseuse par exemple). Sinon des solutions sont trouvées par l'exploitant pour en diminuer les contraintes suivant le site: utilisation de pompe, d'air lift....
 - La mesure du taux de sable en sous verse des hydrocyclones n'est pas toujours aisée et de très nettes améliorations par le constructeur devront être proposées. Des aménagements doivent également être prévus sur ce poste comme par exemple la ré-hausse des hydrocyclones à hauteur d'homme, la mise en place de systèmes dédiés à cette mesure.

Décanteur :

- Il faut noter que les lamellaires sont fragiles. On a observé dans le temps des détachements de blocs qui imposent leur ré-accrochage. Leur nettoyage à forte pression est à proscrire. Le revêtement des lamelles peut également se détériorer et faciliter alors l'accrochage des boues. Suite à cette difficulté, un changement régulier de tous les blocs de lamelles est réalisé sur un site.
- Pour les systèmes Densadeg®, le dimensionnement des fenêtres d'alimentation du réacteur piston sur certains sites est trop juste, et des colmatages sont observés à ce niveau qui créent des passages préférentiels au niveau du décanteur lamellaire.
- En tertiaire, un développement très important d'algues vertes au niveau des lamelles et des goulottes de récupération situées en surface du décanteur est observé sur l'ensemble des sites. Bien que leur présence importante affine le traitement par filtration de l'eau traitée, il est également la cause de colmatages partiels du bloc qui induisent des vitesses ascensionnelles plus fortes sur l'ouvrage et des pertes de fines. Ce développement oblige le nettoyage manuel du bloc lamellaire au jet d'eau sous pression. La fréquence de ces lavages peut varier en fonction de la période de l'année et est hebdomadaire en période estivale. Ils nécessitent l'arrêt temporaire de l'ouvrage et la baisse du niveau d'eau sous les plaques.



Photos – Développement d'algues en surface du décanteur lamellaire

De nombreux essais de lutte contre le développement de ces algues sont réalisés

localement sans grands effets (apport de chlore, de sulfate de cuivre,...).

La couverture des ouvrages s'avère donc indispensable dès leur construction, et cette couverture ne doit pas « cacher » complètement l'ouvrage et doit permettre l'accès et l'observation de sa surface par l'exploitant.

En l'absence de couverture, la contrainte d'exploitation devra être bien intégrée et son nettoyage manuel en particulier : la possibilité de baisser rapidement le niveau d'eau pour le nettoyage du bloc lamellaire, un point d'eau avec une pression suffisante et un chemin d'accès sur l'ensemble de l'ouvrage. Ce nettoyage manuel régulier des blocs lamellaires milite également pour la mise en place de plusieurs ouvrages en parallèle interconnectables pour ne pas pénaliser le rejet lors de son nettoyage.

Divers :

On note enfin une absence systématique de préleveur automatique installé en entrée de l'étage tertiaire. Il permettrait une bonne connaissance des flux à traiter en particulier la charge en phosphore pour optimiser l'apport de chlorure ferrique dont les conséquences d'un surdosage sont importantes en terme de coûts d'exploitation.

EN EXPLOITATION

Produits :

- L'apport régulier de produits (coagulant, floculant et sable) est à l'origine de nombreuses difficultés d'exploitation. En effet le paramétrage de valeurs de consignes de traitement sont rarement étudiées et optimisées. Des valeurs incorrectes ont de rapides répercussions sur le traitement : Colmatage du bloc lamellaire suite à des apports trop importants de polymère, fuite de fines par défaut d'un des trois produits, production de boue, etc.

De plus, de fréquents colmatages de l'anneau d'injection du polymère par le développement d'une gangue gélatineuse sont observés. Afin de palier cette difficulté, les remèdes actuels sont l'instauration d'un débit d'eau propre continu et/ou la vidange régulière de l'ouvrage pour le nettoyage poussé de l'anneau.

- Afin de minimiser la perte de sable, le réglage des cônes équipant les hydrocyclones n'est pas possible. Par contre, l'exploitant peut

gérer le bon fonctionnement de l'appareil (suivi des pressions, des débits recirculés), le taux et les apports de sable dans l'ouvrage. Ces derniers doivent être réguliers et sans à-coups. Il est à noter que la répétabilité de la mesure du taux de sable au sein de l'ouvrage n'est pas toujours évidente.

A ce niveau, une mesure réelle des réactifs consommés doit être effectuée et analysée en vue de l'optimisation du dosage.

Décanteur :

- Le colmatage ou l'encrassement des blocs lamellaires, inévitable avec le temps, induit des fuites de floccs en sortie de traitement. Leur observation conduit alors à un nettoyage manuel du bloc lamellaire. Afin de minimiser ces pertes, un lavage régulier et programmé doit être réalisé avec abaissement du plan d'eau sous les blocs lamellaires.
- La présence de dépôts de boues en fond de flocculateur, avec fermentation de celles-ci, est parfois suspectée. Afin d'éviter cette accumulation, la remise en suspension des éventuels dépôts en augmentant progressivement la vitesse de rotation de l'agitateur du flocculateur doit être effectuée de façon régulière. Lors de cette manipulation, les remontées de boues noires sont synonymes de dépôts fermentés déjà anciens.

Extraction des boues :

- L'asservissement de l'extraction des boues sur la hauteur du voile ne semble pas toujours fiable : la détection du voile de boue (remontées du voile de boue générées par des à-coups hydrauliques ou lors d'évènements pluvieux) est parfois difficile. Des difficultés au niveau du calage de ces sondes sont aussi annoncées (mesure du voile de boue ou du halo supérieur ?). Suite à une mauvaise détection du voile (présence d'algues ou de floccs au niveau de la mesure par exemple), l'extraction automatique des boues sur cette mesure peut s'enclencher, purgeant l'ouvrage de ces boues durant la nuit. En recours, certains exploitants renouvellent régulièrement les sondes, d'autres abandonnent cet asservissement et utilisent cette mesure en information pour

affiner le calage des tableaux horaires d'extraction.

- Le suivi du niveau du voile de boue par sonde et par le biais des piquages permet de s'assurer du bon réglage du procédé. Par contre, un niveau trop haut ou trop bas est toujours difficile à appréhender par l'exploitant : défaut ou excès de floculant (boues trop ou pas assez dense), extraction insuffisante ou pas assez importante ?

Divers :

La majorité des analyseurs en lignes installés en tertiaire que nous avons rencontrés sur les sites sont à l'arrêt. Leur maintenance et exploitation sont jugées trop lourde pour le gain apporté au niveau de l'asservissement. Le suivi des réglages est réalisé à partir d'analyses ponctuelles en sortie (temps de séjour court) couplées parfois à un suivi de la turbidité en sortie d'ouvrage.

EN ASSERVISSEMENT

Le traitement du phosphore par clari-floculateurs est un procédé conçu pour fonctionner de façon automatique. Afin d'optimiser ses performances, certains paramètres sont asservis à des mesures physiques comme le débit d'eau traité, la hauteur du voile de boue, la mesure de la concentration en MES ou en $P-PO_4^{3-}$ de l'eau traitée.

Ainsi, l'apport de coagulant et floculant est généralement asservi au débit d'eau traité lorsque le procédé est installé en aval d'un traitement biologique de type boue activée (fluctuation des ortho-phosphates réduite sur la journée en raison du temps de séjour élevé). Afin d'éviter une surconsommation de produits (et donc de maîtriser les coûts en consommable) ou une baisse de performance par manque de coagulant, cet asservissement doit être fiable et correctement paramétré.

L'objectif est d'apporter le coagulant de façon quasi-continue sur la journée et en fonction du débit à traiter. A cette fin, le choix de la pompe et de sa gamme de débit est primordiale : Le débit minimal de pompage doit pouvoir assurer un apport régulier de coagulant en période de faibles débits nocturnes et éviter les périodes sans injection. De même, le débit maximal d'injection doit permettre de couvrir les périodes de débit de pointe des eaux à traiter.

Pour plus de souplesse, le nombre de pompes disponibles peut être augmenté pour assurer un apport correct sur une gamme de débit à traiter avec le fonctionnement d'un nombre de pompe différent en fonction de la plage de débit traité.

Dans le cas de fortes fluctuations des ortho-phosphates sur la journée, lorsque le procédé est installé en aval de biofiltres par exemple, un asservissement au débit n'est pas suffisant et la mise en place d'un analyseur en entrée de l'ouvrage, dont la valeur est associée à la mesure du débit, permettra l'optimisation dans le temps de l'injection du $FeCl_3$ (cf. fiche n°7 : Exemples de type d'asservissement pour l'injection des réactifs en vue de l'optimisation des quantités à injecter)

Les postes de recirculation et d'extraction des boues peuvent également être asservis au débit traité ou à la hauteur du voile de boue (mais ce dernier fonctionnement est souvent abandonné suite à une possible mauvaise réponse de la sonde de mesure de hauteur de voile qui peut induire une vidange totale des boues de l'ouvrage).

Pour l'asservissement de la recirculation des sables dans l'Actiflo®, le fonctionnement d'un nombre différent d'hydrocyclone suivant des gammes de débit est généralement préconisé, dont le débit est fonction de la capacité précise de l'hydrocyclone installé. De plus, en période de temps sec, le fonctionnement d'appareils différents par basculement des hydrocyclones entre eux permet d'éviter la création de zones de dépôts en fond d'ouvrage (si différents points de prélèvements par pompe installée) et de répartir le degré d'usure des équipements.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Elles sont basées sur les discussions avec les exploitants, sur les consignes d'exploitation fournies par les constructeurs et sur nos propres observations sur sites.

CONTRAINTES GENERALES COMMUNES AUX DEUX SYSTEMES

De manière quotidienne

Le contrôle journalier de l'ouvrage est primordial pour un diagnostic rapide de dysfonctionnement par l'observation visuelle de la boue au niveau de

la maturation ou en entrée du décanteur lamellaire (aspect du floc) et du rejet au milieu naturel (fuite de floc, turbidité).

Ce contrôle permet de repérer une éventuelle anomalie de fonctionnement au niveau des apports de réactifs, une répartition hydraulique anormale. Il est généralement réalisé avec le contrôle visuel de la préparation automatique du floculant et avec l'évaluation des consommations journalières de réactifs (FeCl_3 et floculant) pour vérifier le bon fonctionnement de l'automate, l'absence de fuite ou de colmatage des canalisations.

De manière hebdomadaire :

Un entretien de l'instrumentation en place sur l'étage (nettoyage voir étalonnage des sondes, analyseurs en lignes, capteur de hauteur de voile de boue) est fortement conseillé. Cette maintenance est particulièrement importante lorsque les informations délivrées par les capteurs sont utilisées en asservissement.

De plus, le contrôle du bon fonctionnement des postes de préparation du polymère : Débit d'eau et de la vis, concentration de la solution mère, bon fonctionnement de l'éventuel aspirateur de polymère est à réaliser.

Enfin, le nettoyage manuel du bloc lamellaire au jet d'eau sous pression est indispensable. Les constructeurs annoncent des lavages mensuels mais un lavage plus fréquent est nécessaire pour éviter les fuites de floc et limiter la formation d'algues en surface des blocs.

De plus un étalonnage du débit des pompes (polymère, chlorure ferrique, recirculation) suffisamment régulier pour avoir un asservissement cohérent est préconisé par les constructeurs. Cet étalonnage est particulièrement important pour les pompes susceptibles de s'user fortement (recirculation des boues sableuses ou de chlorure ferrique).

Il faut aussi ajouter à ces contraintes toutes celles relatives à l'approvisionnement en réactifs : gestion des stocks, dépotage du chlorure ferrique, stockage et remplissages éventuels des trémies du polymère et du sable.

Contraintes particulières au Densadeg® dues essentiellement à la recirculation et à l'épaississement des boues

Lors du contrôle journalier de l'ouvrage, la collecte des flottants en surface du réacteur piston si l'écope est manuelle (généralement le cas en tertiaire) est à effectuer.

Un contrôle quotidien de la hauteur du voile de boue dans le décanteur lamellaire est également à réaliser par le biais des différents piquages. A partir des résultats obtenus, une modification du réglage des extractions peut être envisagée.

De plus, une mesure de la quantité de boues dans le flocculateur (décantation en éprouvette durant 10 minutes) doit être réalisée plusieurs fois par semaine. Une mesure régulière de la concentration en MES est également judicieuse pour vérifier la correspondance entre le taux de boues mesuré et sa concentration.

Enfin, une remise en suspension d'un éventuel dépôt dans le flocculateur en augmentant progressivement la vitesse de rotation de l'agitateur du flocculateur peut être effectuée de façon hebdomadaire. Les remontées de boues noires sont synonymes de dépôts au fond du décanteur, qui pourrait être à l'origine du colmatage des fenêtres débouchant sur le réacteur piston.

Degrémont préconise de plus une vérification de l'aspect de l'hélice du flocculateur (absence de filasse) en même temps que le lavage du lamellaire, cependant la pompe de vidange n'abaisse pas toujours suffisamment le niveau d'eau.

Ces procédés, en traitement tertiaire, nécessitent un temps d'exploitation important qu'il ne faut pas négliger. En effet, un passage régulier sur l'ouvrage ainsi qu'une optimisation poussée de ses réglages et performances (concentration de rejet, taux de traitement, asservissement) sont nécessaires à son bon fonctionnement, malgré son automatisation importante.

Le nettoyage manuel régulier des blocs lamellaires est à intégrer en exploitation (1/2 journée par semaine en période estivale) et milite pour la mise en place de plusieurs ouvrages en parallèle interconnectables et d'une couverture des bassins tout en maintenant leur accessibilité. La possibilité de baisser rapidement le niveau d'eau pour le nettoyage du bloc lamellaire est à prévoir dès le dimensionnement des ouvrages.



Les clari-floculateurs sont basés sur le principe de décantation associée à un traitement chimique dont certaines particularités (recirculation interne de floccs bien formés ou apport de micro-sable) permettent de travailler à des vitesses élevées.

Ces procédés sont proposés en traitement primaire, en tertiaire, en traitement des eaux de pluie et/ou pour des traitements spécifiques comme les eaux de lavage de la filière biofiltration.

En tertiaire et pour des eaux brutes à dominante domestique et normalement concentrées, les clarifloculateurs sont implantés uniquement sur des sites où les niveaux de rejet sont très contraignants, en particulier lorsque le phosphore total demandé sur un échantillon moyen 24 heures est inférieur à 1 – 1,2 mg/L et la DCO inférieure à 50 - 60 mg/L. Dans ces conditions (et pour des ERU normalement concentrées), ces valeurs ne peuvent être garanties avec un traitement biologique classique. L'obtention de valeurs plus faibles nécessite donc souvent la mise en place de ce type d'ouvrage pour l'élimination du particulaire qui participera à l'élimination des éléments constitutifs des MES (DCO, DBO₅, NK et PT) et des orthophosphates (fraction dissoute) par précipitation à l'aide de sels métalliques.

Les niveaux de rejets poussés doivent être bien appréciés car au-delà des valeurs annoncées, les conséquences sont importantes au niveau des coûts d'investissement (ouvrage supplémentaire) et d'exploitation (Coûts en réactifs, production de

boue, temps en personnel) pour une fraction éliminée sur l'étage relativement faible.

Dans certains cas, les niveaux de rejet demandés sont déjà atteints à l'entrée de l'étage tertiaire et cet ouvrage pourra alors fonctionner uniquement en traversier. Dans d'autres cas, le dépassement du niveau de rejet est seulement dû aux MES. La concentration en P-PO₄³⁻ est déjà très faible à l'entrée et le non-respect est lié à la part de phosphore particulaire (P peut représenter 4,5% des MES pour certains traitements amont).

PERFORMANCES MESUREES EN TERTIAIRE

Des mesures sur site ainsi que l'exploitation des données d'auto surveillance sur plusieurs années de différentes installations équipées de clari-floculateurs en tertiaire montrent de bonnes performances de ces systèmes avec des rejets conformes en Phosphore total et en MES pour la grande majorité du temps.

Concentration en PT < 0,8 mg/L

Avec une concentration en P-PO₄³⁻ < 0,3 mg/L

et une Concentration en MES < à 10 mg /L (de l'ordre de 7 mg/L)

Les rendements sur cet ouvrage sont très variables d'un site à l'autre car ils dépendent principalement de la concentration d'entrée des effluents. Les rendements obtenus sur les sites étudiés sont les suivants :

	DCO	MES	PT
Rendement en %	De 5 à 35	De 20 à 55	De 60 à 85

Tableau 25 – Performances mesurées durant les suivis

Ces résultats sont obtenus avec des ratios molaires Fe/P très élevés de 3,5 à 13, l'optimisation sur les installations visitées n'ayant pas été réalisée. Ces dosages élevés occasionnent de nombreux inconvénients comme les dépenses en réactifs, la production de boue,...

Cette absence d'optimisation à ce niveau est principalement due à l'automatisation quasi totale de l'ouvrage et bien souvent, d'autres problèmes sur la filière de traitement sont beaucoup plus prioritaires pour l'exploitant.

La contrainte de rendement sur l'ensemble de la filière de traitement (> à 80%) est problématique sur certains sites du fait des très faibles concentrations en phosphore en entrée d'installation (dilution importante et baisse significative des flux d'entrée). Ce critère de rendement n'est pas adapté aux cas des eaux diluées.

De plus, lorsque la concentration des effluents bruts est faible et qu'un traitement poussé du phosphore sur l'étage biologique par une suraccumulation biologique et précipitation simultanée est réalisé, la concentration de l'effluent en sortie biologique (ou entrée tertiaire) peut être en moyenne annuelle inférieure à 1 mg/L de PT. Dans ce cas, l'intérêt de maintenir l'étage tertiaire en fonctionnement est limité et son arrêt par by-pass peut être temporairement envisagé (réduction des coûts des consommables en exploitation).

Occasionnellement, des pics accidentels de concentration en PT atteignant 2 voir 3 mg/L en sortie des clarificateurs sont parfois observés en auto-surveillance.

Ils s'accompagnent généralement de rejets chargés en MES s'expliquant par des fuites de floccs dues à des colmatages partiels du bloc lamellaire ou à un défaut d'apport de sable ou de réactifs (colmatage de canalisation, défaut de préparation de réactifs).

Lorsque cet étage fonctionne, il est une réelle sécurité vis à vis de certains dysfonctionnements de la filière biologique amont pour les équipes d'exploitation. En effet, des problèmes ponctuels de pertes de boues des clarificateurs secondaires par dénitrification sauvage ou par bulking ont moins de répercussion sur la qualité du rejet grâce à la présence des clariflocculateurs. De même, sur les installations importantes, l'étage tertiaire permet une certaine souplesse pour

l'exploitation : évacuation des flottants des clarificateurs secondaires, by-pass partiel et temporaire d'une file amont.

La production de boues de l'étage tertiaire n'est pas négligeable et peut atteindre 20 % de la production de boue totale de la station d'épuration, sans boue primaire.

LIMITES DU PROCEDE

Les résultats d'hydraulique maximale obtenus sur les sites sont uniquement des tendances spécifiques au site étudié.

En effet, la qualité du rejet pour une vitesse ascensionnelle donnée dépend énormément de l'état de fonctionnement du système lors de cette pointe, avec en particulier :

- La concentration du flocc et son état de maturation,
- Le taux de traitement appliqué et son asservissement,
- Le taux de sable ou de boue effectif dans l'ouvrage,
- Le degré d'encrassement ou de colmatage du bloc lamellaire,
- Le flux de particulaire à traiter et ses caractéristiques.

Ainsi, des valeurs de limites hydrauliques pour chaque système n'ont pas pu être arrêtées, l'état de fonctionnement du système étant prépondérant.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Ces procédés, en traitement tertiaire, nécessitent un temps d'exploitation non négligeable. En effet, un passage régulier sur l'ouvrage ainsi qu'une optimisation poussée de leurs réglages et performances (concentration de rejet, taux de traitement, asservissement) sont nécessaires à son bon fonctionnement.

Le nettoyage manuel régulier des blocs lamellaires est à intégrer en exploitation courante et milite pour la mise en place de plusieurs ouvrages en parallèle interconnectables et d'une couverture des bassins tout en maintenant leur accessibilité.



FICHE N°1 : RAPPEL DES DIFFERENTES FORMULES ET TESTS UTILISES SUR CE TYPE D'OUVRAGE

Mesure de la surface au miroir et de la surface totale projetée (symbolisée S.T.P.)

La vitesse ascensionnelle ou vitesse de Hazen est exprimée en $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ et est obtenue par le ratio du débit de pointe horaire appliqué sur l'ouvrage sur une surface donnée. Selon la surface retenue, les vitesses de dimensionnement peuvent être très différentes.

On parlera de vitesse au miroir, lorsqu'on tient compte de la surface horizontale de l'ouvrage (cette surface retenue n'est pas toujours une surface bien définie) dite standard retenue par les constructeurs.

Le schéma suivant présente les différentes surfaces qui peuvent être utilisées pour le calcul de la vitesse ascensionnelle dans un décanteur lamellaire :

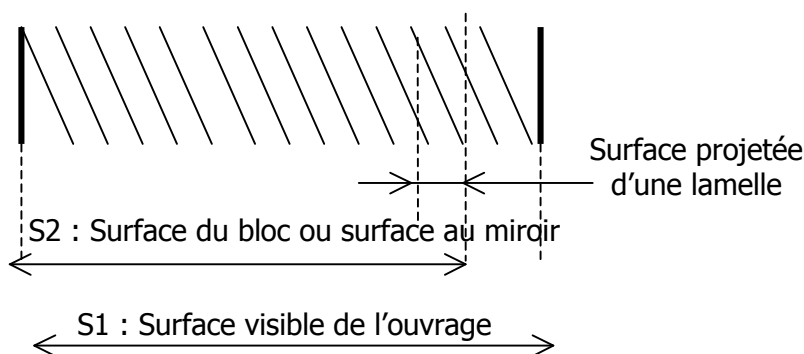


Figure 4 – Schéma de la surface au miroir et de la surface STP

Avec :

S1 : surface du bloc lamellaire + projetée de la dernière plaque (m^2) = surface visible de l'ouvrage.

S2 : surface du bloc lamellaire seul ($S2 < S1$) = surface du bloc lamellaire seul où circule l'eau = surface au miroir.

Ces deux surfaces ne prennent pas réellement en compte les surfaces disponibles pour la décantation des particules (cas des boues activées par exemple [document technique FNDAE n°18]) car elles n'intègrent pas la hauteur du module de décantation. Le seul intérêt de présenter les vitesses avec la surface au miroir est l'obtention de vitesses très élevées. Les zones de coagulation, de floculation ne sont pas prise en compte dans les surfaces au miroir.

S3 : surface totale projetée des plaques = somme des surfaces projetées de chaque plaque du bloc lamellaire. La vitesse calculée à partir de cette surface ne peut pas être contestée car elle intègre l'ensemble des plaques mises à disposition pour la décantation des floes.

La vitesse au miroir : $V_{\text{miroir}} = Q_e / S_2$

Avec : Q_e : débit de pointe en entrée du décanteur lamellaire (en m^3/h) sans prise en compte du débit de recirculation

S_2 : surface au miroir (surface du bloc lamellaire où circule réellement l'eau)

La vitesse au miroir correspond à une vitesse de remontée de l'eau à travers la section de l'ouvrage au miroir. Cette vitesse, supérieure à la vitesse dans les plaques, est en particulier utilisée par les constructeurs pour annoncer leurs performances hydrauliques mais elle ne peut pas être retenue comme référence pour le comparatif avec d'autres dimensionnement.

La vitesse dans les plaques : $V_{\text{STP}} = Q_e / \text{STP}$

Avec : Q_e : débit de pointe en entrée du décanteur lamellaire (m^3/h)

STP : surface totale projetée (m^2) = $(n-1) S \cos \Theta$

n : nombre de plaques (lamelles)

S : surface élémentaire d'une plaque

Θ : angle d'inclinaison des plaques par rapport à l'horizontale.

Dans cette expression, toute la surface développée des lamelles est prise en compte. La vitesse STP est plus précise pour la décantation du floc que la vitesse au miroir. Elle représente mieux la vitesse effective dans les lamelles et facilite la comparaison des vitesses retenues par les constructeurs lors du dimensionnement en boue activée.

Rôle des plaques :

Les plaques ou lamelles servent essentiellement :

- A une meilleure répartition hydraulique afin d'exploiter au maximum l'ouvrage et donc de limiter la vitesse de remontée des particules.
- A tendre vers un régime laminaire caractérisé par le nombre de Reynolds.

En traitement tertiaire, compte tenu d'un floc lesté et bien formé, la séparation des floccs de l'eau de sortie s'effectue sous le bloc lamellaire, la vitesse au miroir correspondant à la vitesse dans le module lamellaire d'où la vitesse de remontée des particules.

Formules spécifiques au Densadeg® / Delreb®

(ouvrages à recirculation de boue) :

LA CHARGE AU RADIER :

$$= ([MES] \text{ des eaux d'entrée} \times Q_e) + ([MES] \text{ des boues recirculées} \times Q_r) / \text{Surface du fond du décanteur (qui correspond à la surface du radier pour les boues)}$$

La charge au radier est le produit horaire du flux de MES appliqué par les eaux d'entrée et les boues recirculées sur la surface disponible pour l'épaississement des boues (proche de la zone hersée).

CONCENTRATIONS DES BOUES DANS LE FLOCCULATEUR :

Pour obtenir une efficacité maximale, une concentration optimale en MES dans le flocculateur du Densadeg® ou équivalent doit être maintenue. Il est conseillé une concentration supérieure à 0,5g/L.

46

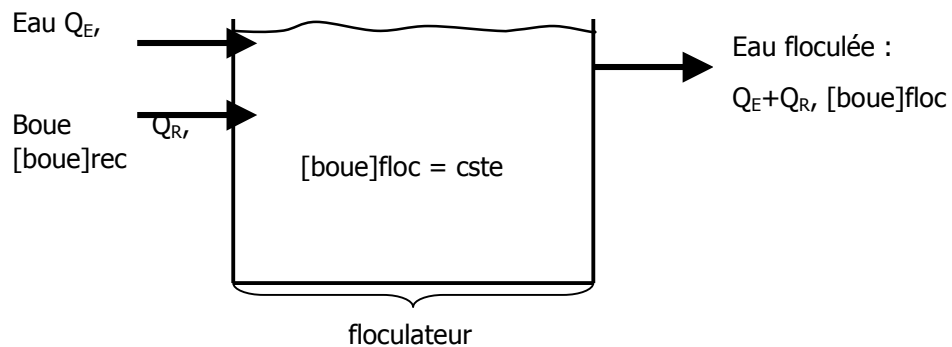


Figure 5 – Schéma d'équilibre des flux dans le flocculateur

La concentration en boue dans le flocculateur

$$= (\text{flux de MES recirculées par les boues} + \text{flux de MES apporté par les eaux à traiter}) / (Q_E + Q_R)$$

Avec Q_E : volume d'eau à traiter
 Q_R : Volume de boue recirculée

En émettant l'hypothèse que le flux de MES apporté par les eaux à traiter est négligeable,

$$[\text{MES des Boues}]_{\text{floculateur}} = \text{Flux de MES recirculé} / Q_E + Q_R = Q_R \times C_r / Q_E + Q_R$$

$$= C_r \times Q_R / Q_E + Q_R$$

$$= C_r \times Tr / (1 + Tr)$$

avec Tr : Taux de recirculation = Q_R/Q_E

$$Tr = ([\text{Boue floculateur}]/[\text{boues recirculées}]) / (1 - ([\text{Boue floculateur}]/[\text{boues recirculées}]])$$

Exemple :

On recherche une concentration dans le floculateur de 0,5 g de MES/L.

La concentration des boues obtenue en sortie du clarifloculateur sur la conduite boue recirculée est de 40 g de MES/litre.

D'où un taux de recirculation de $Tr = 1,26 \% = (0,5 / 40) / (1 - (0,5 / 40)) = 0,0126$ d'où 1,26 %

En résumé, les taux de recirculation sont de l'ordre :

Concentration des boues recirculées En g de MES/L	Concentration des boues dans le floculateur En g de MES/L	Taux de recirculation à fixer
20	0,5	2,6 %
30		1,7 %
40		1,3 %
20	1	5,3 %
30		3,4 %
40		2,6 %

Taux de recirculation :

On appelle le **taux de recirculation**, le rapport du débit recirculé sur le débit entrant. Il est exprimé en % et correspond au ratio (Q_R / Q_E) en m^3/h .

Le taux de recirculation préconisé par le constructeur est compris entre 2 et 5% du débit de pointe. Il fixe la concentration en boue dans la clarificateur.

Cette valeur est très faible par rapport aux taux de recirculation utilisés en clarification secondaire.

Décantation des boues du floculateur :

Un **test de décantation** des boues du floculateur permet un contrôle simple et rapide de la concentration approchée du floculateur. L'obtention d'un volume de 10 à 15 % de volume relatif de boue après 10 minutes

de décantation est conseillé par le constructeur et serait équivalent à une concentration supérieure à 0,5 g/L.

Ce test n'est qu'un indicateur compte tenu des hypothèses prises en comptes (IB de l'ordre de 100 à 150 mL/g MES, la boue a effectué 50% de son trajet de décantation au bout de 10 minutes) mais en exploitation il peut-être un outil de compréhension qui peut pousser l'exploitant à d'éventuels contrôles comme par exemple le débit recirculé et sa concentration en boue.

Explication :

Sur la base qu'à 10 minutes de décantation, on atteint approximativement 50 % de la hauteur parcourue par la boue obtenu en 30 minutes (Cas de l'Indice de boue).

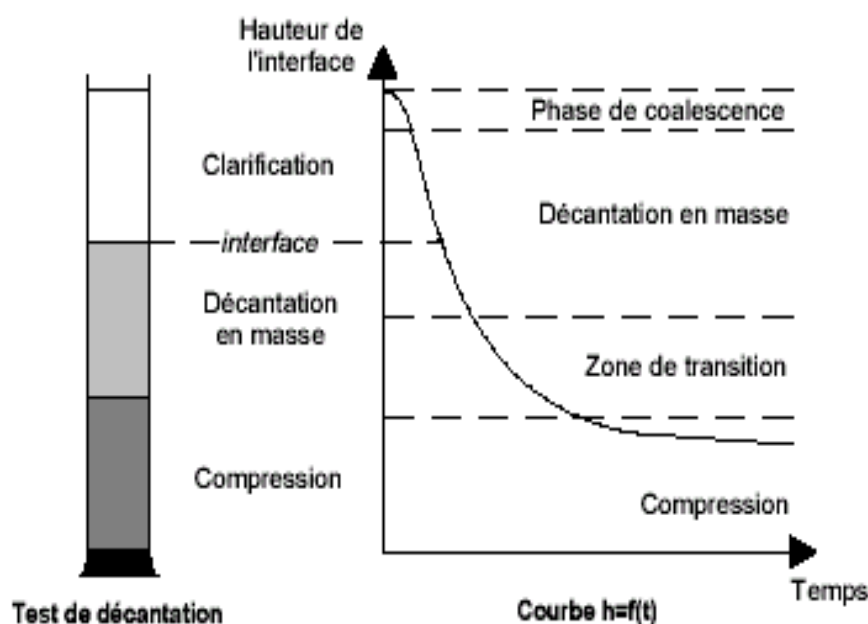


Figure 6 – Test de Kynch

Sur la base d'un indice de boue de 100 mL/g de MES, l'obtention de 0,5 g/L impliquerait un volume décanté de 50 mL au bout de 30 minutes et de 100 mL au bout de 10 minutes.

Formules spécifiques à l'Actiflo® :

LA CONCENTRATION EN SABLE :

Une concentration en sable suffisante dans l'ouvrage, ou **taux de sable**, est importante pour son bon fonctionnement. Elle nécessite des mesures de la quantité de sable sous l'hydrocyclone et est calculée à partir de la formule suivante :

$$Cs = ((1000 / V) \times Vs \times 1,4)$$

Avec : Cs : concentration en sable en sous verse de l'hydrocyclone (g/L)

V : volume de liquide prélevé (pour une éprouvette de 1 litre)

Vs : volume du sable décanté sans l'éprouvette au bout de 3 min (mL)

1,4 : densité du sable

Ensuite, en connaissant le débit en sortie de l'hydrocyclone (sous verse) et celui en entrée Actiflo®, on détermine la **concentration de sable dans le décanteur** :

$$Csable = (Cs \times Qhydrocyclone) / Q Actiflo®$$

Avec : Csable : concentration dans le décanteur ou taux de sable (g/L)

Cs : concentration en sable en sous verse de l'hydrocyclone (g/L)

Qhydrocyclone : Q sous verse hydrocyclone , il est évalué avec le temps de remplissage d'un récipient

Q Actiflo® : Débit d'entrée de l'Actiflo® (m³/h)

LES PERTES DE SABLE :

Elles sont annoncées par le constructeur de l'ordre de 1/1000 du taux de sable soit par exemple 3 g /m³ d'eau traitée pour un taux de sable de 3 kg / m³. Elles peuvent être vérifiées par la mesure du taux de sable et de son évolution au cours du temps. Il conviendra de maintenir le bon taux de sable et d'effectuer des compléments réguliers en fonction du taux de sable mesuré.

La quantité de sable dans le décanteur doit donc être suivie dans le temps. Cette quantité est calculée à partir du volume de sable injecté au démarrage (Csable (t)× Qe (t)) à laquelle on soustrait la perte de sable au pas de temps t+1 (Csable (t + 1)× Qe (t + 1)). On obtient alors la formule suivante :

$$Perte (t) = Csable (t) \times Qe (t) - Csable (t + 1) \times Qe (t + 1)$$

Avec : Perte (t) : la perte de sable à l'instant t (kg/h)

Csable (t) : concentration du sable à l'instant t (kg/m³)

Csable (t+1) : concentration du sable à l'instant t+1 (kg/m³)

Qe (t) : débit d'entrée de l'Actiflo® à l'instant t (m³/h)

Qe (t + 1) : débit d'entrée de l'Actiflo® à l'instant t + 1 (m³/h)

La concentration de sable dans le décanteur à l'instant $t + 1$ est supposée plus faible qu'à l'instant t , le signe de la perte de sable est alors positif.

En exploitation courante, l'Actiflo® doit être régulièrement rechargé en sable. Les pertes de sable sont constantes et dépendent de différents paramètres comme sa granulométrie, sa concentration dans le décanteur, le débit de recirculation et la concentration de la boue (notice OTV).

Bilan de la quantité de sable dans l'ouvrage

Les pertes en sable sont calculées à partir des taux de sable mesurés en sous verse des hydrocyclones. Pour un bon fonctionnement du décanteur, le taux de sable doit être maintenu supérieur à 2 kg/m^3 (donnée constructeur). Le taux de sable est calculé à partir de trois paramètres :

- **Le volume décanté dans une éprouvette d'un litre** : la précision de ce volume dépend de la façon dont l'éprouvette est placée en dessous de l'hydrocyclone. Il faut donc répéter l'opération plusieurs fois et faire la moyenne des différents volumes trouvés.
- **Le débit de souverse de l'hydrocyclone** : ce débit est recalculé à chaque mesure du taux de sable. Il est mesuré avec la durée de remplissage d'un seau placé en dessous de l'hydrocyclone. Cette mesure est répétée plusieurs fois pour obtenir plus de précision.
- **Le débit instantané pris au moment de la manipulation.**

L'incertitude sur le taux de sable est donc importante. De plus, lorsqu'il y a permutation automatique des hydrocyclones (tableau horaire ou variation de débit à traiter), un taux de sable juste après une permutation est peu représentatif et à proscrire.

50

Le « bilan sable » le plus sûr est le suivi des apports de sable dans le temps sur une période la plus longue possible.