

**Ministère de l'Écologie, du Développement
et de l'Aménagement Durables**

FNDAE N°35

Document technique



Jean-Pierre Canler – Jean-Marc Perret



Département Milieux Aquatiques, qualité et rejets

Unité de recherche Qualité des Eaux et Prévention des Pollutions

Groupement de Lyon

3 bis, Quai Chauveau - CP 220

69336 LYON cedex 09

Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

Ce document de synthèse a pu aboutir grâce au soutien financier de la Direction de l'eau du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables.

Il est issu du travail de l'équipe traitement des eaux résiduaires du groupement de Lyon, avec l'aide importante d'Olivier Peyronnard, stagiaire de l'INSA de Lyon.

Nous tenons aussi à remercier les Maîtres d'ouvrages pour la mise à disposition de leur installation ainsi que les exploitants des stations étudiées pour leur aide dans le bon déroulement de l'étude : installations de Aix en Provence (13), Bourg en Bresse (01), Divonnes les bains (01) et Reims (51). Enfin, un dernier remerciement est adressé à l'équipe du laboratoire d'analyses physico-chimiques des milieux aquatiques « paramètres majeurs et micro polluants inorganiques » du Cemagref de Lyon pour leur importante participation au volet analytique de cette étude.



Préambule 6

Chapitre 1 – Rappels sur l'évolution des différents composés au sein d'une filière de traitement de type biologique en un seul étage..... 7

Rappels et commentaires sur les limites concernant les niveaux d'exigences de qualité des rejets en phosphore et en matière organique 9

Chapitre 2 – Le traitement tertiaire par clarifloculation..... 12

Rappel du principe du traitement physico-chimique 13

Rôle des réactifs physico-chimiques : étapes dites de Coagulation puis de Floculation..... 13

Présentation des principaux systèmes commercialisés en France..... 15

Les possibilités d'insertion dans la filière de traitement des eaux..... 17

Les paramètres de dimensionnement 19

Chapitre 3 – Résultats des mesures 25

Les performances mesurées en Tertiaire 25

Analyse des paramètres de fonctionnement 28

Rappels des principaux paramètres de fonctionnement et d'exploitation 34

Principales difficultés rencontrées et propositions de recours 36

Contraintes d'exploitation 39

Conclusion41

Fiches techniques.....	43
Fiche n°1 - Rappel des différentes formules et tests utilisés sur ce type d'ouvrage.....	44
Fiche n°2 - Calcul de la réduction du TAC sur une filière de traitement.....	51
Fiche n°3 - Calcul du volume de coagulant en solution commerciale à apporter par jour.....	55
Fiche n°4 - Démarche de la vérification des taux de traitement.....	57
Fiche n°5 - Calcul de la production de boue issue du traitement physico-chimique tertiaire.....	59
Fiche n°6 - Conséquence d'une mauvaise optimisation du dosage de coagulant sur la production de boue physico-chimique.....	62
Fiche n°7 - Exemples de type d'asservissement pour l'injection des réactifs en vue de l'optimisation des quantités à injecter.....	64
Annexes.....	69
Annexe 1 - Evolution des concentrations sur des procédés de traitement poussés situés à l'amont d'un clari-floculateur.....	70
Annexe 2 - Estimation des concentrations minimales envisageables en sortie de clarifloculation en traitement tertiaire à partir d'une Eau Usée Domestique normalement concentrée.....	71
Annexe 3 - Niveaux de rejet demandés pour les STEP équipées d'un tertiaire.....	72
Annexe 4 - Les étapes de Coagulation et Flocculation.....	73
Annexe 5 - Concentrations mesurées en Fer.....	74
Annexe 6 - Liste (non exhaustive) des collectivités françaises équipées de clarifloculateurs en 2004.....	75
Annexe 7 - Résultats des mesures sur site.....	77
Bibliographie.....	80



6

Afin de protéger le milieu récepteur, les services de l'état imposent à certaines collectivités des niveaux de rejet plus poussés en sortie de stations d'épuration, en particulier pour le traitement du phosphore et de la matière organique. Pour répondre à ces nouvelles contraintes, des traitements complémentaires se sont implantés à l'aval de l'étage de traitement biologique secondaire. Parmi les différentes technologies disponibles en traitement tertiaire, le clari-floculateur basé sur un traitement physico-chimique est un des procédés récemment développés.

Ce traitement complémentaire, de type tertiaire, nécessite :

- Pour répondre à une réduction de la matière organique, d'intervenir d'abord sur la fraction particulaire ce qui permet de réduire les éléments constitutifs de cette fraction : DCO, DBO₅, azote et phosphore.
- Et pour réduire la pollution phosphorée, d'intervenir sur la fraction soluble composée d'ortho-phosphates dont l'élimination se fera par précipitation à l'aide de sels métalliques (fer ou aluminium).

Cette technologie, appelée clari-floculateur, est basée sur un principe de décantation associé à un traitement chimique dont certaines particularités permettent de travailler à des vitesses plus élevées, d'où la notion de réacteurs à grande vitesse, permettant la mise en place d'ouvrage compact.



Les eaux résiduaires urbaines (ERU) admises en entrée des stations d'épuration des collectivités véhiculent conventionnellement trois grands types de pollution : la pollution carbonée représentée par la DCO, la DBO₅ et les MES, la pollution azotée représentée principalement par l'azote kjeldahl (NTK) composé d'azote organique et d'azote ammoniacale (N-NH₄⁺) et la pollution phosphorée avec le phosphore total (PT)

composé de phosphore organique et d'orthophosphate (P-PO₄³⁻). Ces trois types de pollution se répartissent sous trois classes physiques : particulaire, colloïdale et soluble. Les caractéristiques moyennes d'une eau résiduaire urbaine normalement concentrée (collectée par réseau séparatif) et les flux polluants apportés par habitant sur des installations importantes sont rassemblés dans le tableau suivant :

7

Type de pollution	Paramètres	Concentrations en mg/L	Habitant * pour une collectivité importante en g/Hab.j ⁻¹	Equivalent-Habitant en g/EH.j ⁻¹
Carbonée	DCO	700 - 750	de l'ordre de 115	145
	DBO ₅	300	de l'ordre de 50	60
	MES	250	de l'ordre de 45	55
Azotée	NTK = NT	75 - 80	de l'ordre de 10-12	12 à 15
	N-NH ₄ ⁺	60		
Phosphorée	PT	12 - 13	de l'ordre de 2,5	2,5 à 3
	P-PO ₄ ³⁻	8 - 10		

Tableau 1 – Caractéristiques moyennes d'une eau résiduaire urbaine normalement concentrée (Source Cemagref)

* fonction de la taille de la collectivité

L'abattement de cette pollution fait appel à des procédés physiques (décantation) pour éliminer la

pollution particulaire, à des procédés physico-chimiques pour les fractions particulaire, colloïdale

et soluble précipitable (négligeable à l'exception des orthophosphates) et à des procédés biologiques pour l'ensemble des fractions (filrière de traitement indispensable pour abattre la partie soluble).

Compte tenu de l'application de la loi sur l'eau, les procédés mis en place sont de type biologique et la filrière la plus implantée est le procédé boue activée en aération prolongée. En dehors de son traitement poussé, il permet de produire une quantité de boue limitée associée à un taux de matière organique (MVS) bas. Ce procédé permet de traiter :

- **La matière carbonée** de façon poussée. L'élimination de la fraction soluble est obtenue par assimilation par des bactéries aérobies (besoins d'oxygène) afin de former de nouvelles bactéries (synthèse cellulaire). Cette assimilation (métabolisme bactérien) s'accompagne de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'orthophosphates dans la proportion suivante : $DBO_5 / N-NH_4^+ / P-PO_4^{3-}$ de 100 / 5 / 1 ce qui signifie que l'abattement de 100 mg de DBO_5 s'accompagne d'une diminution de 5 mg d'azote et de 1 mg d'ortho-phosphate par assimilation. Dans le cas d'un traitement biologique d'une ERU, l'abattement en azote et en phosphore sont de l'ordre de 20% à 25%. Au-delà de ces abattements, des traitements spécifiques de l'azote et du phosphore devront être mis en place.
- **L'azote** [Document Technique FNDAE n°25] : Il est traité par le procédé boues activées dimensionnées dans le domaine de l'aération prolongée pour maintenir la biomasse autotrophe, responsable du traitement de

l'azote. Dans cette filrière, l'azote est transformé en azote gazeux par nitrification et dénitrification pour atteindre des concentrations en sortie inférieure à 2 mg $N-NH_4^+$ /L et inférieure 5 mg $N-NO_3^-$ /L et des rendements globaux en NGL de 90 %, y compris la part assimilée.

- **Et le phosphore** selon deux techniques : biologiques et physico-chimiques [Document technique FNDAE n°29]. Le traitement du phosphore par sur-accumulation, appelé aussi déphosphatation biologique, permet un rendement d'élimination de l'ordre de 60 à 70 % pour une eau résiduaire normalement concentrée. Le mécanisme du processus de sur-accumulation aboutit à une teneur en Phosphore pouvant atteindre 5 à 6 % des MVS soit 2 à 3 fois celui d'une biomasse classique. Le traitement physico-chimique du phosphore peut également être utilisé, avec différents lieux d'ajout du réactif (avant le réacteur biologique : pré précipitation, après le réacteur : post précipitation ou dans le réacteur : précipitation simultanée). Avec ce type de traitement, seule la forme dissoute ($P-PO_4^{3-}$) disponible est précipitée avec le Fer. Les performances obtenues dépendent de la concentration en $P-PO_4^{3-}$ des eaux résiduaires et du ratio molaire $Fe / P-PO_4^{3-}$ appliqué.

Sur une filrière de type boue activée en un seul étage bien dimensionnée avec un traitement poussé du carbone par assimilation, de l'azote par nitrification-dénitrification et du phosphore par traitement biologique et physico-chimique et traitant des eaux normalement concentrées, les concentrations résiduelles attendues en sortie sont les suivantes :

Sortie du procédé boue activée en temps sec : traitement du C, du N et du P (avec déphosphatation biologique et physico-chimique)								
	C			N			P	
	DCO	DBO_5	MES	NTK	Noxy	NGL	PT	$P-PO_4^{3-}$
En mg/L	60 - 70	10 - 15	15 - 20	< 5-6	2	< 8	1,2 - 1,5	0,2 - 0,3
Rendement moyen %	91	96	93	93		90	89	

Tableau 2 – Concentrations résiduelles en sortie du procédé boue activée : traitement du C, du N et du P en temps sec

A ce stade du traitement secondaire, un léger résiduel en ortho-phosphates s'avère inévitable pour permettre un traitement biologique suffisant. Une pré-précipitation poussée pourrait bloquer ou limiter le processus biologique compte tenu d'une insuffisance de composés nutritionnels (en particulier le $P-PO_4^{3-}$) indispensable au métabolisme bactérien.

Des niveaux de rejet plus bas (en particulier le PT inférieur à 1 mg/L et la DCO inférieure à 50 mg/L) nécessitent un traitement complémentaire appelé Tertiaire. Les MES est sortie de la filière boue activée avec traitement physico-chimique du phosphore étant constituées de 4,5% de Phosphore, l'obtention de valeurs plus faibles nécessite d'éliminer le particulaire (MES).

En effet, il faut rappeler qu'un gramme de MES en sortie de traitement secondaire poussé représente, par de la perte de biomasse, un rejet de :

1,2 g de DCO et 0,5 g de DBO_5 ,

0,065 g d'azote (6 à 7%),

et 0,045 g de P (4,5% en raison d'un traitement biologique et physico-chimique amont du phosphore).

Suite à un traitement secondaire poussé, la mise en place d'un traitement tertiaire pour éliminer principalement le particulaire (de l'ordre de 10 mg de MES éliminé/L, soit une sortie proche de 5 mg MES/L) donne, par exemple, une très bonne qualité d'eau de sortie suivante :

	DCO	DBO_5	MES	NGL	PT
Entrée tertiaire en Temps sec en mg/L	60	10	15	8	1,2
L'élimination de 10 mg de MES/L donne					
Sortie tertiaire en mg/L	48	5	5	7,2	0,75

Tableau 3 – Concentrations résiduelles en sortie du traitement tertiaire pour l'élimination de 10 mg/L de MES sur l'étage

Cet exemple montre que l'élimination de la fraction particulaire permet le respect des normes de rejet poussées sur le phosphore (PT < à 1 mg/L) et sur la DCO (DCO < à 50 mg/L, sauf pour une DCO soluble réfractaire anormale et supérieure à 35 mg de DCO dure/L).

Remarque :

Notion de flux de Phosphore à traiter et ratio PT / Eq Hab

Lors du dimensionnement des installations, le ratio PT / EH fréquemment utilisé pour les calculs de charge à traiter en entrée de station d'épuration est encore souvent de 4 g P/EH .

Les résultats des nombreuses mesures sur sites montrent que ce ratio est en baisse depuis plus d'une dizaine d'années avec la mise sur le marché de lessives « sans phosphates ».

En prenant pour hypothèse de calcul qu'un équivalent habitant rejette 60 g de DBO_5 /jour, la quantité moyenne de phosphore rejetée par un EH, est de l'ordre de 2,5 g P/EH soit un ratio DBO_5/PT proche de 25. En période de pluie, la

charge en phosphore est augmentée et peut atteindre en moyenne 30% de plus.

Ainsi, le calcul des flux de phosphore réels à traiter en entrée station est à relativiser pour les stations existantes (avec généralement une charge annoncée de dimensionnement nettement supérieure à la réalité).

Lors des projets de dimensionnement des nouvelles installations, une valeur de 2,5 g P/EH devra être utilisée.

RAPPELS ET COMMENTAIRES SUR LES LIMITES CONCERNANT LES NIVEAUX D'EXIGENCES DE QUALITE DES REJETS EN PHOSPHORE ET EN MATIERE ORGANIQUE

D'un point de vue réglementaire, une partie du territoire français est classée en « zones sensibles » en raison de la sensibilité du milieu naturel aux paramètres Azote et Phosphore, notamment pour les zones sujettes à l'eutrophisation.

Les rejets de phosphore au milieu naturel doivent bien entendu être réduits dans ces zones et des contraintes d'élimination sont définies pour les stations d'épuration recevant des charges à traiter

en DBO₅ supérieures à 600 kg/j (soit 10 000 EH). Ces contraintes de traitement sont bien entendu des valeurs minimales.

Charge brute traitée par l'installation (en kg DBO ₅ / j)	Charge brute traitée (en EH)	[PT] maximale en moyenne annuelle	Ou rendement mini en PT en moyenne annuelle
600 à 6000	10 000 à 100 000	2 mg PT/L	80 %
> 6000	> à 100 000	1 mg PT/L	

Tableau 4 – Contraintes d'élimination du P pour les installations recevant des charges à traiter en DBO₅ > à 600 kg/j.

Pour les stations d'épuration recevant des charges inférieures à 600 kg de DBO₅, les objectifs de traitement sont également fixés par arrêté préfectoral suivant le milieu naturel récepteur. Ainsi, pour le phosphore, une grande variabilité des exigences de qualité est rencontrée.

La concentration en phosphore demandée en sortie d'installation peut être exprimée en une moyenne annuelle uniquement ou en une valeur à atteindre durant une période donnée. Ce point est important et doit bien être précisé dans le cahier des charges.

La notion de rendement est toujours délicate dans le cas d'eaux à traiter fortement diluées par des eaux parasites en période sèche ou par temps de pluie. Parfois, la prise en compte de cette notion de rendement peut impliquer des exigences de concentration en PT en sortie irréalistes, la concentration en entrée étant excessivement faible, due à un facteur de dilution trop élevé aggravé par des eaux de teneur en phosphate de plus en plus faible.

Une collectivité située hors zone sensible peut aussi avoir des contraintes fortes sur le rejet compte tenu d'un milieu récepteur très fragile et non répertorié comme zone sensible.

A l'exception de la notion de rendement qui dépend de la concentration d'entrée et peut être très exigeant pour des eaux usées très diluées, on parlera de contraintes fortes lorsque la concentration demandée du rejet est inférieure à 1,2 à 1,5 mg de PT/L et d'une DCO totale inférieure à 70 mg/L. Dans ces deux cas, un traitement tertiaire devient indispensable avec toutes les conséquences qui en découlent : coûts

d'investissement et d'exploitation pour une fraction éliminée sur l'étage relativement faible.

La limite des principaux paramètres est la suivante :

➤ **Pour la DCO totale :**

La composition d'une eau de sortie après une filière de traitement biologique (boue activée ou biofiltration) issue d'une eau usée domestique normalement concentrée est composée :

- D'une fraction soluble appelée DCO dure ou réfractaire (non biodégradable) qui peut représenter 30 à 35 mg de DCO soluble / L.
- D'une autre fraction soluble biodégradable mais non biodégradée. Sa concentration peut être approchée par la valeur mesurée en DBO₅ soluble multipliée par 2,4 (valeur issue du ratio DCO/DBO₅ des eaux à traiter).
- Et d'une fraction particulière composée de biomasse rejetée dont la concentration est obtenue par la concentration en MES multipliée par 1,2 (valeur issue de la mesure de la DCO particulière en sortie station).

Des rejets inférieurs à 30 à 40 mg de DCO/L demandés sur des eaux normalement concentrées nécessiteraient d'éliminer toute la fraction particulière (techniques membranaires) ainsi que la fraction totale biodégradable. Ce dernier point est aussi difficilement envisageable car on observe pour des traitements poussés un résiduel biodégradable en DCO de l'ordre de 3 mg/L lié aux variations journalières et à de mineurs courts circuits hydrauliques.

Rappelons que pour le milieu récepteur, c'est bien la fraction biodégradable représentée par les MES et la DBO_5 qui est néfaste au milieu.

➤ **Pour le phosphore total :**

Au niveau du rejet au milieu naturel en sortie de station d'épuration, on retrouvera essentiellement le phosphore, à des concentrations variables suivant la filière de traitement retenue, sous les formes suivantes :

- Le $P-PO_4^{3-}$ résiduel qui n'a pas été éliminé biologiquement et chimiquement. Dans le cas d'un traitement poussé amont, la valeur d'orthophosphates peut atteindre 0,2 à 0,3 mg/L.

- Le Phosphore des MES composé de P constitutif de la biomasse (MVS) et de P non solubilisé adsorbé. Ce phosphore particulaire peut atteindre une concentration de l'ordre de 0,8 mg/L dû à 15 à 20 mg de MES avec un taux de P de 4,5 % (en raison d'une déphosphatation biologique et physico-chimique à l'amont).

Rappelons que pour les milieux récepteurs sensibles à l'eutrophisation, la fraction pénalisante est représentée par les orthophosphates dont les concentrations sont déjà très faibles.



Photo : Goulotte de récupération des eaux décantées



LE TRAITEMENT TERTIAIRE PAR CLARIFLOCCULATION

Un traitement tertiaire par clariflocculation permet uniquement :

- Une élimination (voir un affinage en raison des faibles concentrations à l'entrée de l'ouvrage) de la pollution particulaire par la réduction des MES du rejet en sortie de traitement secondaire. L'abattement de ces MES (principalement composées de floccs) permet une réduction des paramètres constitutifs de la biomasse éliminée (appelée aussi MVS) :

1 mg de MVS permet un abattement de l'ordre de :

de 0,6 mg DBO₅

de 1,45 mg de DCO

de 0,09 mg d'azote (9% des MVS)

et de 0.02 à 0.06 mg de Phosphore (2 à 6 % des MVS en fonction du type de traitement du phosphore à l'amont).

- Et une réduction des formes solubles du phosphore représentées par les ortho-phosphates, par l'ajout de sels métalliques (de fer ou d'aluminium) conduisant à la formation d'un précipité décantable.

Dans le cas des eaux résiduaires domestiques normalement concentrées, la clariflocculation tertiaire à l'aval d'un traitement biologique permettrait d'atteindre les concentrations suivantes :

DCO totale	MES	PT
<p>45 à 50 mg DCO_T /L</p> <p>En raison d'un talon dur ou réfractaire de 30-35 mg/L, de la DCO liée aux MES de l'ordre de 10 mg/L (8 mg MES/L x 1,2), et de la DCO soluble biodégradable de l'ordre de 5 mg/l (2 mg DBO₅ / L x 2,4)</p>	<p>8 mg MES/L</p>	<p>0,7 à 0,8 mg PT/L</p> <p>En raison d'un résiduel de 0,1 à 0,2 mg de P-PO₄³⁻/L et de 0,5 mg/L de P organique (cas d'une déphosphatation biologique à l'amont (8 mg MES/L x 0.06)</p>

Compte tenu des concentrations moyennes rejetées par un traitement biologique classique

poussé, les rendements escomptés par un clarifloculateur sont les suivants :

Paramètres	Concentration à l'entrée du clarifloculateur (ou en sortie traitement biologique secondaire poussé) en mg/L	Concentration escomptée en sortie clarifloculateur en mg/L	D'où les rendements escomptés moyens pour un traitement tertiaire par clari-floculateur %
DCO totale	60 - 70	45	30
MES	15 - 20	8	55
PT	1,2 - 1,5	0,75	50

Tableau 5 – Rendements escomptés sur un clari-floculateur en tertiaire

On observe des rendements globalement faibles en raison du traitement poussé sur la filière amont.

RAPPEL DU PRINCIPE DU TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE

Le traitement physico-chimique est effectué par la mise en place d'un décanteur de type lamellaire associé à l'introduction de réactifs chimiques couramment utilisés. Cet abattement physico-chimique met en jeu trois mécanismes dont deux essentiels :

- La précipitation des fractions particulaire et colloïdale après neutralisation des particules par l'ajout d'un coagulant.
- La précipitation des ortho-phosphates (forme soluble) par l'ajout d'un sel métallique.
- On observe aussi l'adsorption de quelques composés solubles (matière organique) dont l'abattement est relativement négligeable.

En traitement tertiaire, l'élimination est plus délicate en raison des faibles concentrations à l'entrée de l'ouvrage en particulier pour l'abattement des fines.

ROLE DES REACTIFS PHYSICO-CHIMIQUES : ETAPES DITES DE COAGULATION PUIS DE FLOCCULATION

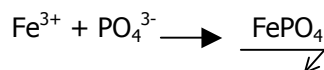
COAGULATION :

Le but de la coagulation est de neutraliser les charges électriques des particules colloïdales afin de favoriser la formation d'un agglomérat. Ces

particules sont en suspension dynamique dans l'eau et le coagulant injecté déstabilise les particules en limitant les forces stabilisatrices des colloïdes : la charge superficielle des colloïdes (charge négative) est neutralisée par l'apport d'un cation (le coagulant), des sels métalliques sont généralement utilisés pour leur forte charge cationique. Les particules vont alors pouvoir s'approcher les unes des autres et se lier convenablement lors d'éventuels phénomènes de contact. Cette réaction nécessite un brassage rapide pour faciliter ce contact.

Les réactifs utilisés sont des sels métalliques (fer ou aluminium) qui permettent également la précipitation des orthophosphates.

A titre d'exemple, la réaction du chlorure ferrique avec les ortho-phosphates est la suivante :



Formation d'un précipité appelé phosphate de fer

Une réaction « parasite » a également lieu en parallèle avec l'eau avec la formation d'un hydroxyde de fer :



Formation d'un précipité appelé hydroxyde de fer

Cette seconde réaction nécessite de travailler avec des excès de sels métalliques par rapport à la stœchiométrie pour atteindre le degré d'épuration (ou rendement) souhaité. Ces excès s'expliquent par « la compétition » entre la réaction de précipitation des phosphates et celle des hydroxydes.

La quantité de fer injecté est donc toujours utilisée pour la précipitation simultanée des

phosphates et des hydroxydes qui s'accompagne d'une baisse du pH et d'une augmentation de la conductivité.

FLOCCULATION :

La floculation représente l'étape où les particules déstabilisées sont rassemblées en agrégats (flocs). Cette réaction est réalisée par l'apport de floculants en raison de leur très haut poids moléculaire et de leur charge ionique qui permet de rassembler les particules déstabilisées.

La floculation est généralement réalisée en 2 temps :

- Injection du floculant : un brassage rapide permet une bonne répartition.
- Maturation du floc : un brassage plus lent permet la formation et le rassemblement du floc.

Remarque : un décalage dans le temps de 1 à 3 minutes entre les injections de coagulant et de floculant est souhaitable pour permettre une meilleure efficacité.

QUANTITES A INJECTER :

La quantité de fer à apporter est principalement dictée par les rendements d'élimination souhaités en $P-PO_4^{3-}$ et en pollution particulaire.

La bibliographie validée par des expérimentations sur site préconise des ratios molaires sels métalliques/phosphore initial (Fe/P) différents pour atteindre un même rendement suivant la concentration en orthophosphates au point d'injection, d'où des différences de dosage selon le type de traitement retenu : primaire ou tertiaire.

Le tableau 6 suivant montre bien que la concentration initiale en orthophosphate est un facteur important pour l'obtention d'un rendement d'élimination donné. Ainsi, pour un même rendement d'élimination, le ratio Fe/P initial sera plus faible pour des eaux concentrées que pour des eaux peu chargées (cf. fiche n°3 - Calcul de la dose de coagulant à apporter et fiche n°4 - Vérification du taux de traitement).

Pour un rendement en P de 90 %			
Concentration en $P-PO_4^{3-}$ en mg/L	2 - 5	5 - 10	15
Ratio molaire Fe/P préconisé	3,5	2,5	1,5

Tableau 6 – Ratio molaire Fe/P appliqué utilisé en fonction de $[P-PO_4^{3-}]$ pour un même rendement de 90%

En résumé, pour atteindre un abattement en PT de l'ordre de 80%, on retiendra en première approche :

- En traitement primaire ou traitement secondaire, pour une concentration en P de l'ordre de 12 à 15 mg/L, un ratio molaire Fe / P appliqué de l'ordre de 1,5 à 2 pour une précipitation physico-chimique seule et un ratio molaire Fe / P appliqué de l'ordre de 1,2 à 1,5 pour une déphosphatation combinée (physico-chimique et biologique).
- Par contre, en traitement tertiaire, pour des concentrations en $P-PO_4^{3-}$ en entrée d'ouvrage plus faibles, souvent inférieures à 5 mg/L, un ratio Fe / P initial de l'ordre 2,5 à 3.

Ces différents ratios seront ensuite ajustés régulièrement en fonction de la concentration en $P-PO_4^{3-}$ obtenue en sortie d'ouvrage. Des ratios élevés auront des conséquences importantes sur la production de boues physico-chimiques, sur la consommation supérieure de TAC pouvant entraîner une baisse du pH, sur des risques de corrosion et sur les coûts d'exploitation.

PRESENTATION DES PRINCIPAUX SYSTEMES COMMERCIALISES EN FRANCE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES CLARI-FLOCCULATEURS :

Ils sont caractérisés par un décanteur lamellaire précédé d'une étape de coagulation-floculation optimisée.

Le procédé fonctionne en trois étapes :

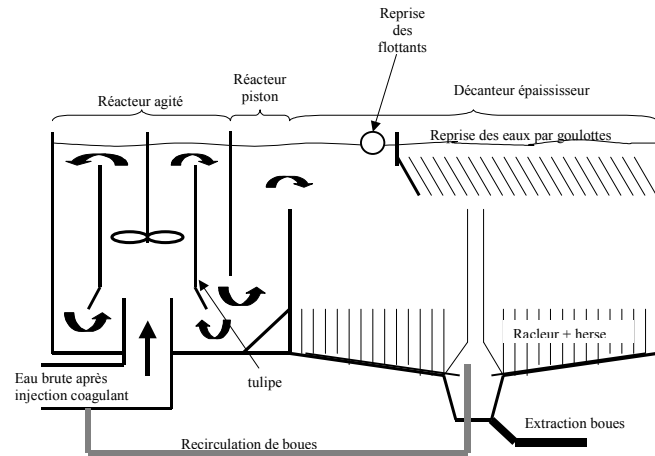
- **Coagulation** avec apport de sels métalliques.
- **Floculation** réalisée en deux temps : injection du floculant associée à un brassage rapide puis maturation du floc associée à un brassage plus lent, soit la présence de deux zones plus ou moins distinctes en série.
- **Décantation** par sédimentation du floc au sein d'un **décanteur lamellaire**. Cette décantation est optimisée par des techniques différentes suivant le procédé.

<ul style="list-style-type: none"> • Nom commercial des procédés existants en France et leur constructeur : 		
Densadeg® Degrémont	Delreb® Stéreau	Actiflo® OTV - Véolia
<ul style="list-style-type: none"> • Particularités : 		
Procédé Densadeg® / Delreb® La floculation est optimisée par une recirculation des boues prélevées en fond de décanteur lamellaire qui sont réinjectées dans ou en amont du flocculateur. Cette recirculation permet une amélioration de la capture des MES (dites fines), une meilleure floculation, un lestage du floc par formation du nouveau floc autour du floc recirculé et une optimisation de la quantité de réactifs utilisés. Les boues extraites sont suffisamment concentrées pour être envoyées directement vers la filière déshydratation.		Procédé Actiflo® La floculation et plus particulièrement sa sédimentation est optimisée par l'apport de micro-sable dans le flocculateur. Celui-ci, avec l'aide des réactifs utilisés, joue le rôle de noyau pour le floc qui sera ainsi fortement lesté du fait de la densité élevée du sable. Les boues sableuses décantées sont dirigées vers un hydrocyclone qui sépare le sable (pour sa recirculation) des boues extraites. La faible concentration des boues impose généralement leur passage par un épaisseur avant la filière de déshydratation.
Décanteur équipé de lamelles Hexagonales « nid d'abeille »		

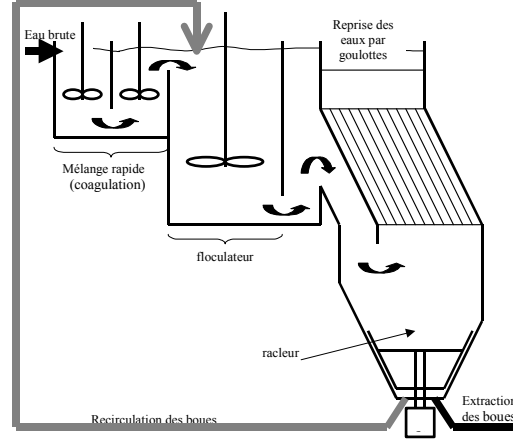
Tableau 7 – Particularité des trois principaux procédés existants en France

- Schémas de principe des trois procédés

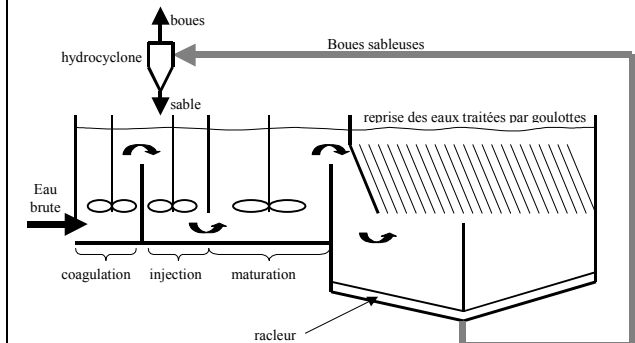
Densadeg®



Delreb®



Actiflo®



Points d'injection :

- **FeCl₃** : apporté soit dans la canalisation d'alimentation soit en tête du bassin de coagulation,
- **Floculant** : apporté sous l'hélice du flocculateur – dans certains cas, une seconde injection est prévue au niveau de la canalisation de la recirculation des boues,
- **Boues** sont recirculées en sortie de coagulation ou dans le bassin de floculation

- **FeCl₃** : apporté dans la canalisation d'alimentation ou en surface du bassin de coagulation,
- **Floculant** : apporté en tête de la cuve d'injection ou de la cuve de maturation,
- **Sable** : il est réintroduit en tête de la cuve d'injection

EN TRAITEMENT PRIMAIRE

Installés après les prétraitements poussés en raison du bloc lamellaire (dégrillage, dessablage et déshuilage), ils fonctionnent en traitement primaire et permettent de « soulager » l'étage biologique aval par un abattement de la pollution organique (MES et fraction colloïdale) et des orthophosphates (fraction soluble).

On peut noter que dans certains cas, les prétraitements peuvent être entièrement intégrés au procédé comme par exemple pour le Densadeg® "4D".

EN TRAITEMENT TERTIAIRE

Ils sont installés en aval d'un traitement secondaire biologique (boue activée + clarificateur ou biofiltres).

Leur implantation en tertiaire a deux objectifs principaux :

- Réaliser une déphosphatation physico-chimique par abattement du phosphore résiduel dissous en sortie du traitement biologique dans les cas où des rejets très faibles en P sont demandés,
- Affiner le traitement biologique amont par rétention des MES (et donc de la fraction particulaire des autres pollutions) présentes en sortie du clarificateur.

Dans certains cas, les niveaux de rejet en PT demandés sont déjà atteints à l'entrée de l'ouvrage tertiaire. Sur ces sites, le traitement tertiaire par temps sec devra être mis à l'arrêt avec un fonctionnement en traversier :

- Pour l'Actiflo® : un fonctionnement sans réactif ni recirculation ou avec réactifs et une recirculation occasionnelle pour permettre l'évacuation des boues stockées.
- Pour le Densadeg® : un fonctionnement sans réactif mais avec recirculation des boues.

Le by-pass total de l'étage peut être envisagé pour une période importante dans le cas par exemple d'installations récentes sous chargées.

EN TRAITEMENT MIXTE : TRAITEMENT PRIMAIRE EN TEMPS DE PLUIE ET TERTIAIRE EN TEMPS SEC

Différentes configurations existent pour cette implantation en traitement mixte. Par temps de pluie, le traitement des eaux peut être réalisé sur un clari-floculateur destiné à un traitement tertiaire par temps sec. Celui-ci peut alors traiter la totalité des eaux brutes prétraitées, seulement le volume en provenance de la filière de traitement biologique ou le mélange des eaux en provenance de la filière de traitement biologique et de la file orage.

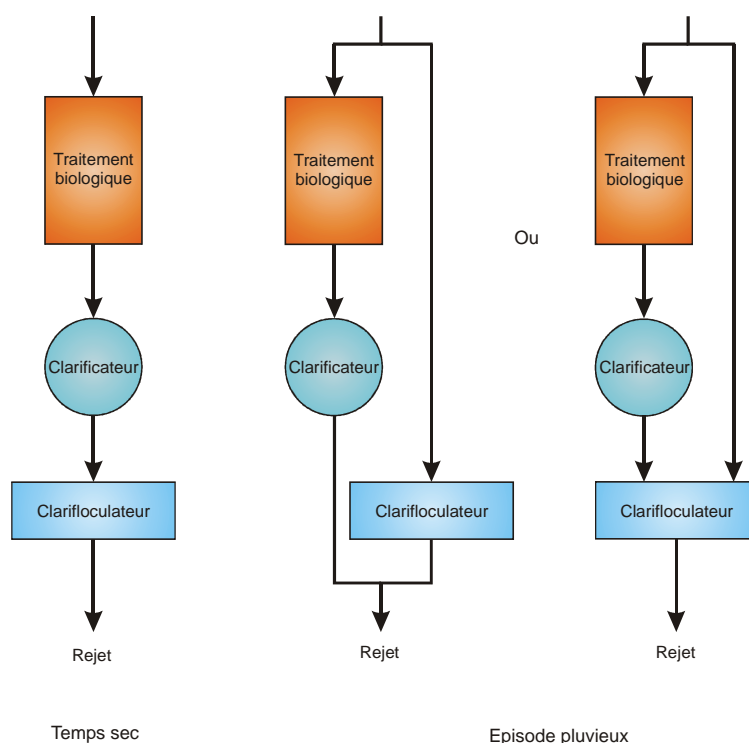


Figure 1 – Différentes configurations d'implantation en traitement mixte

Remarque : Gestion des ouvrages mixtes tertiaire / pluvial

Le fonctionnement des clarificateurs en traitement mixte, tertiaire et pluvial, peut induire des contraintes de gestion et d'exploitation plus importantes.

Les préconisations des constructeurs pour ce type de fonctionnement sont souvent abandonnées sur les sites visités en raison de l'accroissement des contraintes d'exploitation :

- Le changement de floculant suivant la période (temps sec / temps de pluie) n'est pas réalisé : un seul floculant anionique adapté à des caractéristiques moyennes des eaux à traiter est utilisé.
- De plus, la période d'attente, de l'ordre de 30 minutes, pour la préparation d'un nouveau floculant plus adapté au temps de pluie ne milite pas pour l'utilisation de floculant spécifique.

Après de véritables épisodes pluvieux, le floc est déstabilisé par lessivage (flocs plus petits, pertes importantes de fines). Le retour à un fonctionnement stable n'est pas instantané et un rejet dégradé est observé durant quelques heures (perte de fines).

Enfin, le démarrage rapide du procédé semble également être difficile : la création de flocs suffisamment importants est le facteur limitant du procédé Densadeg®, l'Actiflo® pouvant peut-être mieux convenir à un fonctionnement discontinu par l'apport de micro-sable qui joue le rôle de support immédiatement utilisable et facilite ainsi la création de flocs fortement lestés.

EN TRAITEMENT SPECIFIQUE

L'ouvrage peut également être dédié à un traitement spécifique au sein de la filière, comme par exemple le traitement des eaux de lavage de biofiltres nitrifiants.

AUTRES SYSTEMES POUVANT REMPLACER LE CLARI-FLOCULATEUR EN TRAITEMENT TERTIAIRE

En traitement tertiaire, en aval des boues activées, ces clari-floculateurs peuvent être remplacés par un ouvrage ayant un rôle unique

de filtration (abattement prioritaire du particulaire). Dans cette option, le rôle de sécurité vis à vis du milieu naturel est privilégié à l'abattement du phosphore.

Deux filières sont actuellement disponibles pour cette configuration :

- **La mise en place de membranes** en remplacement du clarificateur. Dans ce cas, l'effluent rejeté ne contient pas de MES et donc aucune forme de phosphore particulaire. Seul le phosphore sous forme dissoute est rejeté à une concentration pouvant être très faible si la filière amont est équipée d'une déphosphatation (0,2 à 0,3 mg de P/L est envisageable). Dans le cas d'une déphosphatation physico-chimique amont, une surveillance accrue du procédé devra être effectuée pour éviter les risques de colmatage.
- **La mise en place d'une filtration sur sable** à l'aval d'une clarification secondaire. Cette filière permet une bonne rétention des MES (avec un rejet de l'ordre de 7 à 8 mg MES/L) et donc un rejet en PT faible et inférieur à 0,8 mg/L. Par contre, cette filière nécessite, pour une même gamme de débit, une surface plus élevée.

LES PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT

RAPPELS DES BASES DE DIMENSIONNEMENT PROPOSEES PAR LES CONSTRUCTEURS

Dans la suite de ce document, seulement deux technologies sont présentées en raison d'un nombre d'installations équipées significatif : les procédés **Densadeg®** et **Actiflo®**. Le procédé **Delreb®** étant encore peu commercialisé et les données disponibles insuffisantes, ses performances pourront être approchées de celles du procédé Densadeg® dont le principe de fonctionnement est relativement proche.

Aspects Hydrauliques

Les données de dimensionnement des constructeurs sont annoncées par rapport au débit de pointe horaire, paramètre retenu lors du dimensionnement de ce type d'ouvrage.