

LA DÉCANTATION LAMELLAIRE DES BOUES ACTIVÉES

Ce document a été réalisé à la demande du ministère de l'agriculture et de la pêche par la division Qualité des Eaux du Centre National du Machinisme Agricole (C.E.M.A.G.R.E.F.), groupement de Lyon, avec le concours financier du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (F.N.D.A.E.).

Rédacteur : Jean-Pierre CANLER.

Le bureau des infrastructures rurales du ministère de l'agriculture et de la pêche a collaboré à la version définitive de ce document.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
PREMIÈRE PARTIE: LA DÉCANTATION LAMELLAIRE - GÉNÉRALITÉS I - RÔLE DU DÉCANTEUR LAMELLAIRE SECONDAIRE II - PRINCIPE DE LA DÉCANTATION LAMELLAIRE (DEGREMONT, 1989 AND KINCH 1952)	5 5
 III - DIFFÉRENTS TYPES DE DÉCANTEUR LAMELLAIRE IV - LA DÉCANTATION EN BOUE ACTIVÉE V - DESCRIPTION GÉNÉRALE D'UN DÉCANTEUR LAMELLAIRE 	6 7 9
DEUXIÈME PARTIE : PRÉSENTATION DES INSTALLATIONS I - ÉTAT DU DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE II - SÉLECTION DES SITES III - PRÉSENTATION DES INSTALLATIONS ÉTUDIÉES	11 11 11 12
TROISIÈME PARTIE: MESURES HYDRAULIQUES I - PRINCIPE DES MESURES II - MISE EN OEUVRE DES TESTS HYDRAULIQUES III - MESURES PROPREMENT DITES IV - RÉSULTATS	16 16 16 16 18
QUATRIÈME PARTIE: ANALYSES ET COMMENTAIRES DES RÉSULTATS I - COMPARAISON DES VITESSES HYDRAULIQUES DE DIMENSIONNEMENT AVEC LES VITESSES LIMITES DES OUVRAGES II - COMPARAISON DÉCANTATION STATIQUE - DÉCANTATION LAMELLAIRE III - CRÉNEAU D'APPLICATION	20 20 20 22
CINQUIÈME PARTIE: RECOMMANDATIONS TECHNIQUES - DIMENSIONNEMENT - PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT - EXPLOITATION DES OUVRAGES I - DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE II - PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT III - AUTRES RECOMMANDATIONS SUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT DE LA FILIÈRE IV - EXPLOITATION DE L'OUVRAGE	23 23 25 26 27
CONCLUSION GÉNÉRALE	29
BIBLIOGRAPHIE	30
ANNEXE I - PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE DE L'INDICE DE BOUE : IB I - DÉFINITION II - RÈGLES DE MISE EN OEUVRE III - DESCRIPTION DU TEST DE DÉCANTATION IV - RÉSULTATS V - CALCUL ET INCERTITUDE	32 32 32 32 33
ANNEXE II - DIVERSES RELATIONS OBSERVÉES SUR LES INSTALLATIONS	
ANNEXE III - EXEMPLE DE RELATION ENTRE LA TURBIDITÉ ET LA CONCENTRATION DES MES DES EAUX DE SORTIE	36
ANNEXE IV : ÉVOLUTION DU VOILE DE BOUE	37
ANNEXE V : DIMENSIONNEMENT D'UN DÉCANTEUR A - CAS D'UN DÉCANTEUR STATIQUE B - CAS D'UN DÉCANTEUR LAMELLAIRE	38 38 38
ANNEXE VI : DÉFINITION DE LA VITESSE HYDRAULIQUE AU MIROIR SUR LE DÉCANTEUR	49

INTRODUCTION

Les stations d'épuration des eaux usées utilisant le traitement biologique par «boues activées», représentent actuellement 60 % du parc national français et 75 % de sa capacité de traitement.

Les effluents sont traités par voie biologique en culture libre dans un premier bassin appelé «bassin d'aération» (apport d' O_2 pour la biomasse), puis ils transitent vers un ouvrage dit de décantation où les effluents traités sont séparés de la boue.

La très grande majorité des ouvrages de décantation est de type statique à flux vertical, ou horizontal pour les installations de grandes capacités.

D'autres stations possèdent un ouvrage plus compact permettant un gain de place notable : le décanteur lamellaire.

L'objectif de cette étude menée par le CEMAGREF pour le Ministère de l'Agriculture est de caractériser les performances hydrauliques de ce système de décantation secondaire à l'aval d'une boue activée dans le domaine de l'aération prolongée, afin d'en définir les limites hydrauliques admissibles.

Nous aborderons dans une première partie les caractéristiques propres à la décantation lamellaire, ainsi que les différents paramètres influençant la décantation.

Un second chapitre sera consacré à l'étude expérimentale menée sur différents sites et à l'analyse des résultats obtenus.

Nous développerons ensuite les enseignements pratiques sur l'utilisation et les performances de ce système.

En boues activées, une vingtaine d'installations équipées d'un décanteur lamellaire sont actuellement recensées sur le plan national. Cette technique est essentiellement développée par un seul constructeur : O.T.V. (deux exceptions SABLA et E.I., ont conçu chacun une installation).

L'objectif de l'étude a induit une sélection des sites en fonction :

- de la taille des collectivités (petites installations),
- du domaine de charge.

Nous tenons à signaler que la technologie dans ce domaine a considérablement évoluée. Ainsi, toutes les améliorations de la part du constructeur principal, n'ont pu être abordées dans ce document, car les applications actuellement largement développées ne répondaient pas aux objectifs de notre étude :

- moyenne à très forte charge,
- cultures fixées (décantation des eaux de lavage),
- décantation primaire.

PREMIÈRE PARTIE: LA DÉCANTATION LAMELLAIRE - GÉNÉRALITÉS

Rôle du décanteur lamellaire secondaire

L'élimination des matières polluantes d'une eau usée se traduit dans une station d'épuration biologique par la formation d'un floc séparable de l'eau clarifiée par simple décantation. Cette opération est réalisée dans le décanteur secondaire (ou clarificateur) à l'aval du bassin d'aération :

- introduction de la liqueur aérée dans l'ouvrage.
- retour de la boue déposée et concentrée vers le bassin d'aération afin d'y maintenir une teneur en matière vivante suffisante.

L'efficacité de tels ouvrages est élevée : la teneur en matières en suspension de l'effluent épuré est généralement de quelques dizaines de mg/l (un rapide calcul montre que le rendement de l'ouvrage sur les particules est de l'ordre de 99,8 %). Toutefois l'efficacité de l'ouvrage est jugée sur la qualité de l'eau rejetée et non sur son rendement.

En résumé, un décanteur secondaire lamellaire doit assurer 3 fonctions essentielles :

- occuper un minimum de place.
- retenir le maximum de particules en suspension,
- concentrer les boues avant leur réintroduction dans le bassin d'aération.

II - Principe de la décantation lamellaire (DEGREMONT, 1989 and KINCH 1952)

Ce chapitre est une approche sommaire de la théorie de la décantation à partir d'une particule grenue.

Dans un ouvrage, une particule en suspension est soumise à plusieurs forces :

- la pesanteur exercée par l'attraction terrestre (F_m),
- la poussée d'Archimède exercée par le liquide (Fa),
- les forces de frottement visqueuses, dues au déplacement d'eau entraîné par la particule (F_v).

Ainsi, si
$$F_t > F_m \rightarrow flottation$$

 $F_t < F_m \rightarrow décantation$

Selon l'influence de ces forces, la particule va flotter ou décanter avec une vitesse spécifique.

Le régime du liquide doit alors être laminaire, afin de ne pas perturber la descente du floc par des turbulences.

Un décanteur classique utilise ces propriétés pour faire circuler les boues en écoulement piston laminaire entre deux points. Cette particule grenue va atteindre une vitesse constante, celle-ci peut être calculée à partir de la formule de Newton :

$$V^2 = \frac{4 d g (\phi_s - \phi_e)}{3 C \phi_e}$$

Dans laquelle:

V : vitesse constante en cm/s

d : diamètre de la particule en cm

g: 981 cm/s

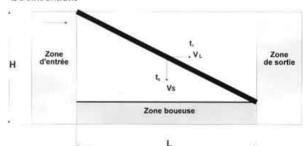
 ϕ_s et ϕ_e : masse volumique de la particule et du fluide

C : coefficient de traînée qui est lié au nombre de Reynolds

A partir de cette formule, il est possible de calculer la vitesse de sédimentation d'une particule.

Dans un décanteur à flux vertical, la rétention des particules a lieu à condition que la vitesse de sédimentation soit supérieure à la vitesse du liquide.

Dans le cas d'un décanteur horizontal : (DEGUIN, 1978) Q Débit entrant



t₀ : temps nécessaire à atteindre le fond t₁ : temps nécessaire à parcourir la distance L.

La condition de rétention des particules est :

soit:
$$\mathbf{t_0} < \mathbf{t_1}$$
 avec $\mathbf{t_0} = \frac{H}{v_S}$, $\mathbf{t_1} = \frac{L}{v_L}$

 $v_{\rm S}$: vitesse de chute de la particule

v_i: vitesse horizontale du liquide

$$\frac{H}{v_S}$$
 < $\frac{L}{v_L}$ avec $v_L = \frac{Q}{I \times H}$

I = largeur de l'ouvrage

$$\frac{H}{v_s}$$
 < $\frac{L \, x \, I \, x \, H}{Q}$ d'où :

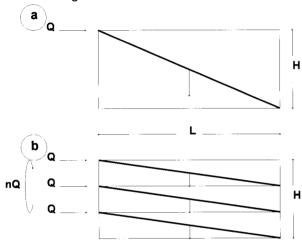
Q
 — est appelée charge hydraulique superficielle
 s
 (ou vitesse ascensionnelle ou vitesse de Hazen)

Ainsi, la particule décante si la vitesse vs est plus grande que la vitesse ascensionnelle (Q/S). La capture d'une particule dans le décanteur s'effectue donc en théorie si sa vitesse de décantation est supérieure à la vitesse de Hazen.

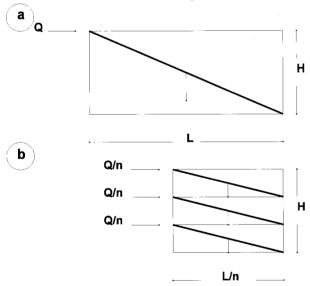
Notons que cette vitesse est indépendante de la hauteur de l'ouvrage (RICHARD Y, 1974).

Ainsi, en décantation horizontale, il est théoriquement possible, à performances égales, de traiter :

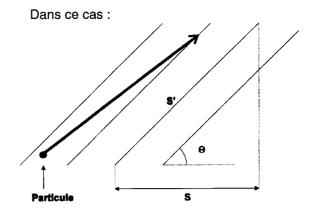
 un débit n Q, dans le même ouvrage, en superposant n étages de hauteur élémentaire H/n.



 un même débit en superposant n étages de hauteur élémentaire h/n et de longueur L/n.



Dans la pratique, ces superpositions entraînent un problème d'évacuation des boues décantées. Pour cela, il faut que la surface sur laquelle les particules se déposent soit suffisamment inclinée pour qu'elles puissent glisser vers le bas sous l'effet de la pesanteur.



Θ : angle d'inclinaison des plaques

S' : surface d'une plaque

S : surface projetée d'une plaque

La surface projetée d'une plaque (S) est :

$$S = S' \cos \Theta$$

Pour l'ensemble du décanteur lamellaire, la surface utile est égale à la surface totale projetée (STP) :

STP =
$$(n-1)$$
 S cos Θ

n : nombre de plaques (lamelles)

s: surface élémentaire d'une plaque

Θ : angle d'inclinaison des plaques

La vitesse ascensionnelle (ou de Hazen) approximative est égale à :

$$va = \frac{Q}{STP} = \frac{Q}{(n-1) S \cos \Theta}$$

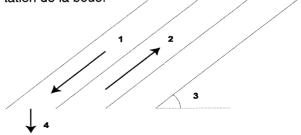
Q : débit entrant dans l'ouvrage

III - Différents types de décanteur lamellaire

Il existe différents types de décanteurs lamellaires (EDELINE F., JACQUELINE and THOMAS, 1976).

III.1 - A contre courant

Son alimentation se fait par le bas, et la circulation de l'eau s'effectue en sens inverse de la décantation de la boue.



- 1. Sens de circulation du floc déposé
- 2. Sens de circulation de l'eau
- 3. Angle d'inclinaison des plaques
- 4. Mouvement du floc vers la fosse à boue

III.2 - A courant croisé

L'eau et la boue circulent perpendiculairement. L'alimentation en eau floculée se fait par le côté afin d'éviter la zone entre les plaques où l'eau remonte avec une vitesse opposée à la chute du floc.



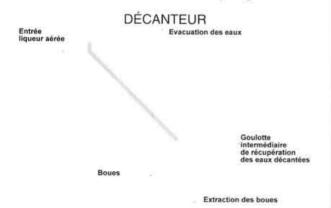
- 1. Plaques
- 2. Alimentation en eau floculée
- 3. Sens de circulation du floc
- 4. Sens de circulation de l'eau

2 3

- 1. Eau décantée
- 2. Plaques + eau floculée y pénétrant
- 3. ⊖ 60°
- 4. Extraction des boues
- 5. Concentrateur de boue

III.3 - A co-courant

Dans ce cas, l'eau et la boue circulent dans le même sens et la décantation n'est pas gênée.



Actuellement la décantation à contre courant est le système le plus simple et le plus fiable dans lequel s'engagent les constructeurs. En effet, de forts problèmes de reprise des eaux décantées en cocourant compliquent le système et la décantation à flux croisés pose des problèmes d'équirépartition des flux hydrauliques (cf. DEGREMONT, 1989).

IV - La décantation en boue activée

L'épuration biologique des eaux résiduaires par le procédé «boues activées» est basée sur l'activité d'une culture bactérienne maintenue en suspension et en état aérobie dans un bassin alimenté par le liquide à épurer.

La boue activée est un écosystème aquatique simplifié, constitué de débris minéraux et végétaux, de colloïdes et de divers éléments en solution ou en suspension, ainsi que de micro-organismes assurant la transformation et la minéralisation de la matière organique (bactéries, protozoaires).

IV.1 - Paramètres caractéristiques de la boue

Cette suspension appelée «boue» est caractérisée par différents paramètres dont les plus importants pour l'étude de la décantation sont :

- la concentration en MES

Elle s'exprime généralement en gramme par litre et est déterminée par séchage à 105°C jusqu'à un poids constant (AFNOR NF T90 105).

Les tests de décantation (cf. IV.2) révèlent l'incidence des concentrations en matières en suspension de la boue sur la vitesse de décantation.

Pour une boue et une éprouvette données, il existe un seuil de concentration au-delà duquel les forces de friction interparticulaires sont prépondérantes et gênent la sédimentation. Plus le taux de matières en suspension est élevé, plus la trame formée par la boue est dense et donc plus la vitesse de passage de l'eau clarifiée entre les flocs est faible.

- teneur en matières volatiles en suspension

Elle est exprimée en pourcentage du poids des matières en suspension et se détermine par calcination à 550°C (AFNOR NF T90 029). Elle est souvent proche de la teneur en matières organiques de la boue.

température

Elle influe directement sur la viscosité du liquide. Par exemple à 30°C, des expériences effectuées aux U.S.A. en laboratoire font ressortir une vitesse de chute des particules 2 à 3 fois supérieure à celle mesurée à 0°C. Dans le cas des boues activées, les variations de température n'atteignent généralement pas une telle amplitude, l'écart été-hiver étant le plus souvent (en zone tempérée) limité à une dizaine de degrés Celsius.

-pH

Le pH des boues activées est voisin de la neutralité (7< pH < 8). Une modification brutale du pH peut entraîner des perturbations d'ordre biologique par défloculation de la boue.

Mais dans l'ensemble, les boues activées ont un pouvoir tampon élevé qui leur permet de supporter des variations importantes de pH des effluents à traiter

- l'oxygène dissous

L'oxygène fournit l'énergie indispensable aux micro-organismes pour transformer la matière organique, il est un facteur limitant du traitement biologique.

En décantation, le temps de séjour affecte la concentration en oxygène dissous des boues activées. Les remontées de paquets de boue dans les décanteurs secondaires, soit par dénitrification, soit par anaérobiose sont les conséquences de temps de séjour trop longs :

- dénitrification : ces phénomènes ont lieu uniquement si les composés azotés ont été nitrifiés. Dans le décanteur, l'absence d'oxygène favorise le phénomène de dénitrification, entraînant un dégagement d'azote gazeux (N₂) qui s'accompagne de remontées de particules de boue par adsorption sur les microbulles d'azote.
- anaérobiose: absence d'O₂ provoquant la fermentation des matières organiques avec un dégagement de méthane, ce gaz entraînant la flottation des boues.

- l'observation microscopique

L'observation microscopique permet d'apprécier la structure du floc : forme, grosseur, distribution...

Ces points sont des paramètres importants dans le comportement de la boue en décantation.

Par exemple, la présence de gros grains denses se traduit par une élévation de la vitesse de sédimentation, au contraire, des bactéries filamenteuses vont freiner la décantation.

De plus, elle apporte des enseignements sur l'état de fonctionnement de l'installation et constitue ainsi une aide à l'exploitation.

IV.2 - Caractéristiques de l'aptitude à la décantation de la boue activée : l'Indice de Boue (CEMAGREF, 1988)

L'indice de boue est la mesure de la capacité de la boue à décanter. Il est défini par la relation suivante :

$$I_B$$
 (en ml/g de MES) = $\frac{V_{D30}}{MES}$

 V_{D30}: volume de dépôt dans l'éprouvette après 30 minutes de décantation (exprimé en ml)

MES: concentration en matières en suspension contenue dans l'éprouvette (exprimée en g/l). Il représente le volume occupé par un gramme de boue après 30 minutes de décantation dans une éprouvette en verre d'un litre.

La procédure est décrite à l'annexe I.

Le volume décanté ($V_{\rm D30}$ < 250 ml) étant alors proportionnel à la concentration dans l'éprouvette, l'indice est donc une caractéristique fiable de la boue.

Sa valeur caractérise l'aptitude de la boue à décanter :

- Des indices < à 100 ml/g de MES correspondent à des boues décantant bien et facilement.
- Des indices > à 200 ml/g correspondent à des boues difficilement décantables et confrontées à un développement de bactéries filamenteuses (foisonnement ou bulking).

L'indice de boue a des applications dans trois domaines :

- l'évaluation des performances hydrauliques des décanteurs secondaires (objet de ce document),
- la gestion des boues : dans une période où l'indice de boue est stable (boue non sujette au foisonnement), de simples décantations diluées (de manière à obtenir des volumes décantés compris entre 100 et 250 ml) de boues provenant de différents points, permettent de connaître les concentrations des échantillons prélevés.

C (en g/l) =
$$\frac{1}{\text{facteur de dilution}} \times \frac{V_{D30}}{I_{B}}$$

Exemple:

Concentration des boues de recirculation. I_R calculé récemment = 150 ml/g.

Volume décanté après dilution au 1/5 : 220 ml.

$$C = 5 \times \frac{220}{150} = 7.3 \text{ g/l}$$

Ces décantations après dilution permettent donc de déterminer facilement les impératifs d'extraction de boues et de contrôler a posteriori si la masse extraite a été correcte.

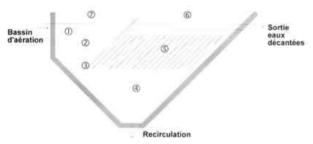
 la «déshydratabilité» des boues : l'efficacité d'un dispositif de déshydratation des boues dépend de la qualité intrinsèque de la boue, de sa concentration et des paramètres de réglage du dispositif, conditionnement inclus.

Pour juger globalement la partie «réglage», il est donc nécessaire de présumer du résultat optimal suivant la concentration et la qualité des boues. Dans le cas des boues secondaires fraîches, l'Indice de Boues est l'indicateur fiable le plus facilement accessible de la déshydratabilité des boues, à condition qu'une évolution anaérobie ne soit pas nettement amorcée, (c'est-à-dire, en pratique, que les boues aient encore un pH supérieur à 6,7).

V - Description générale d'un décanteur lamellaire

Un décanteur lamellaire est composé de différentes parties représentées sur le schéma suivant :

Ouvrage de petites collectivités à alimentation frontale



Ce type de décanteur à alimentation frontale est rencontré sur des petites collectivités (cas des stations étudiées). Pour des ouvrages plus importants, l'alimentation peut être de type latéral.

Les différents éléments essentiels de l'ouvrage sont numérotés et décrits ci-après.

Point 1 - Zone de passage : bassin d'aération - décantation

L'introduction de la liqueur aérée peut se faire de différentes façons, soit :

- par lame déversante.
- par lumière (immergée ou non).

Dans tous les cas de figure, une alimentation de l'ouvrage la plus homogène possible améliore le fonctionnement et les performances du décanteur.

L'arrivée des boues d'aération dans l'ouvrage peut se situer à différents endroits :

- frontale: les boues sont introduites par des lumières res situées dans l'axe de l'ouvrage (ces lumières peuvent se situer en surface ou immergées). Le plus souvent, elles sont équipées d'une vanne qui permet l'isolement du décanteur pour son entretien.
- latérale : lumière située sur le coté de l'ouvrage.

Point 2 - Zone d'arrivée de la liqueur aérée

Elle joue le rôle de dégazage et de dissipation de l'énergie à l'entrée de l'ouvrage.

De plus, une partie des flottants (mousses biologiques, graisses, ...) y est souvent piégée. Ceux-ci, plus ou moins nombreux selon les stations, entraînent des contraintes d'exploitation.

Certaines installations sont équipées d'un système d'évacuation de ces flottants.

Point 3 - Zone de passage : arrivée - trémie

Elle permet l'introduction et la répartition de la liqueur aérée sous le bloc de lamelles.

Point 4 - Fosse à boue

Cet ouvrage a plusieurs fonctions :

- un rôle de répartition de la liqueur aérée,
- un rôle de concentrateur, et
- un rôle de stockage.

De plus cette zone est équipée de pompes pour recirculer les boues concentrées (maintien d'un taux de boue nécessaire pour le traitement biologique) ou permettre leur évacuation dans le silo à boue.

Des temps de séjour trop longs peuvent entraîner des remontées de boues en surface, pénalisant ainsi l'efficacité de l'ouvrage.

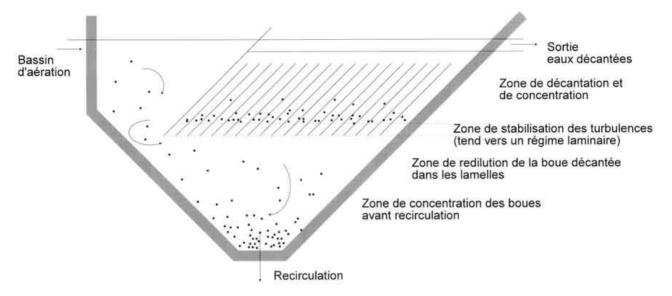
Les boues sont rassemblées avant leur reprise :

– soit gravitairement grâce à la forme de l'ouvrage (trémie),

soit mécaniquement par un système de raclage,
 l'objectif étant de réduire les perturbations hydrauliques au maximum.

Pour les ouvrages à surface unitaire élevée, une trémie entraînerait des travaux de génie civil très lourds, elle est généralement remplacée soit par une succession de trémies, soit par une fosse équipée de système raclé ou sucé.

Le croquis suivant est une représentation du comportement de la boue et de son épaississement.



Point 5 - Le bloc lamellaire

Formé de lamelles ou plaques inclinées, il est solidaire du bassin et constitue un passage forcé pour l'eau. L'évacuation des eaux clarifiées vers le milieu récepteur se fait en haut des plaques par l'intermédiaire d'une goulotte crantée.

Son volume occupé est inférieur à celui du bassin.

Son dimensionnement est lié au débit de pointe de l'installation et à la vitesse de Hazen retenue lors du dimensionnement.

D'autres éléments doivent être pris en compte lors du dimensionnement :

- la nature du matériau : PVC , tôle galvanisée le produit retenu doit répondre à différents critères:
 - · une rigidité suffisante pour éviter un certain nombre de raidisseurs qui pénalisent ou modifient la décantation ;
 - · une bonne tenue dans le temps ;
 - · une surface la plus lisse possible pour faciliter le glissement de la boue sur les parois.
- l'angle :

son choix est un compromis entre :

- · une surface totale projetée maximale, et
- · un angle assez élevé pour permettre le glissement de la boue.
- l'écartement :

la valeur retenue est aussi un compromis entre :

 un écartement le plus faible possible permettant une surface totale projetée plus importante pour une même emprise au sol (nombre de plaques supérieur).

- des écarts trop faibles pouvant être la source de colmatage des lamelles :
 - colmatage augmentant ainsi les contraintes d'exploitation, et
 - diminuant la surface totale projetée réelle d'une partie de l'ouvrage.

Point 6 - La collecte des eaux décantées

La répartition homogène des flux hydrauliques en sortie du bloc lamellaire est nécessaire, d'où la nécessité d'une collecte des eaux équilibrée sur l'ensemble du bloc.

Différentes caractéristiques doivent être étudiées lors de la conception et de l'implantation des goulottes d'évacuation :

- elle peut avoir différentes formes : en V, demi-cylindrique, rectangulaire.
- son implantation

- sa forme

- ses orifices de récupération des eaux La surface de ces orifices doit être importante pour diminuer les vitesses d'approche de l'eau.

Point 7 - Dispositif de récupération des flottants

L'aération prolongée est souvent confrontée à la présence de flottants liée à des phénomènes de moussage biologique, de remontées de flocs dues à de la dénitrification, de l'anaérobiose ou des phénomènes de turbulences.

Les goulottes peuvent être équipées de lames siphoïdes pour localiser et éviter le départ de flottants vers le milieu récepteur. Un système de raclage et d'évacuation de ces flottants peut équiper certaines installations pour fiabiliser la qualité du rejet.

DEUXIÈME PARTIE: PRÉSENTATION DES INSTALLATIONS

I - État du développement de la filière

La décantation lamellaire dans le traitement des eaux usées est largement développée en traitement primaire avec ou sans adjonction de réactifs chimiques.

Dans la filière boue activée, le nombre d'installation est très limité. Une enquête nationale révèle la présence d'une vingtaine d'installations développées depuis 1977, essentiellement par un seul constructeur O.T.V. Deux autres constructeurs SABLA et E.I.(Entreprise Industrielle) ont réalisé une installation chacun.

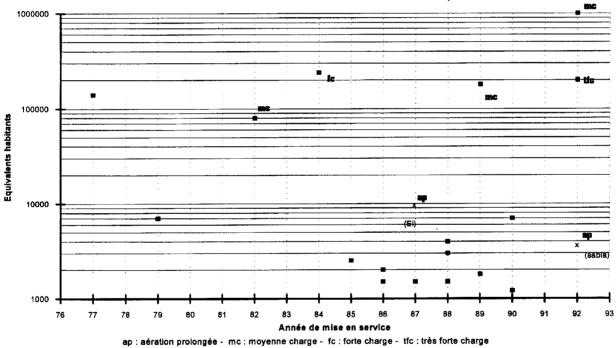
La représentation graphique suivante montre le dimensionnement des installations en fonction des années de mise en service.

On notera une augmentation du nombre d'installations à partir des années 85. Le développement de la filière est aussi lié à une politique régionale : sites plus nombreux dans la région du Sud-Ouest.

Les installations les plus récentes concernent des collectivités très importantes (supérieures à 100 000 éq.hab.) et cette filière est utilisée dans un domaine de charge élevée (très forte charge moyenne charge) pour traiter les boues provenant de cultures libres ou fixées.

La décantation lamellaire, outre son aspect compact (intéressant pour les grosses collectivités ou dans le cas de traitement des odeurs) est toujours en cours d'amélioration technologique.

On retiendra pour l'étude uniquement des installations construites par le constructeur OTV.



Au niveau de la technologie (annexe II), on notera les différences et les évolutions suivantes :

- deux hauteurs de plaques coexistent : 2,50 m et 3,00 m avec la hauteur la plus faible pour les installations les plus récentes,
- les vitesses de Hazen se différencient essentiellement selon le domaine de charge et selon le type d'application en particulier : type de filière à l'amont (boue activée ou cultures fixées).

	Vitesse de Hazen m³/m².h				
DOMAINE DE CHARGE	DÉBIT MOYEN	DÉBIT DE POINTE			
de l'aération prolongée à la très	de 0,16	de 0,45			
forte charge	à 0,58	à 0,93			

- une absence de relation nette entre la vitesse de Hazen et la hauteur des plaques,
- deux types de matériau utilisé : tôle galvanisée et P.V.C. (les installations les plus récentes sont équipées de plaques en P.V.C.),
- l'angle d'inclinaison des plaques est de 55° ou 60° avec un angle plus élevé pour les plaques Galva.

II - Sélection des sites

Comme nous l'avons vu précédemment, les sites étudiés seront sélectionnés uniquement à partir du parc de stations construites par O.T.V.

Différents critères de sélection ont été retenus :

- station fonctionnant dans le domaine de charge de l'aération prolongée,
- collectivité de faible importance pour les besoins

- des mesures : faible débit à l'entrée,
- facilité des mesures : recirculation des eaux de sortie, possibilité de by pass de la station,
- sites présentant des concentrations et des qualités de boue différentes,
- stations dont le fonctionnement et l'exploitation sont relativement satisfaisants.

III - Présentation des installations étudiées

III.1 - Caractéristiques générales

Les installations testées ont des capacités nominales s'étageant de 1 500 à 7 000 éq.hab. (en période estivale). La carte ci-contre en donne la localisation. Les principales caractéristiques sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

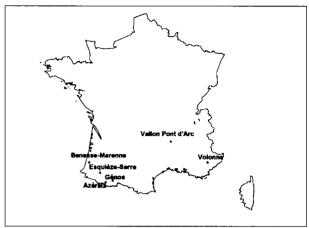
Ces installations ne sont pas de technologie récente : la dernière station date de 1989.

Une installation est sujette à des variations de

charges liées à une activité touristique estivale : Vallon Pont d'Arc (07).

L'ensemble de ces sites fonctionne dans le domaine de charge de l'aération prolongée.

Le type de réseau est le plus souvent pseudoséparatif, pour deux sites de type séparatif et pour un site de type unitaire.



F.C.: Faible Charge

SITES	DÉPART.	ANNÉE	CONSTRUCTEUR	CAPACITÉ (en éq.hab.)	TYPE DE RÉSEAU	TYPE DE TRAITEMENT
Vallon Pont d'Arc	07	79	Froment - Clavier *	2000 (hiver) 7000 (été)	pseudo-séparatif pseudo-séparatif	A.P. M.C.
Volonne	04	88	O.T.V.	3500	séparatif	A.P.
Benesse M.	40	89	O.T.V.	1800	unitaire	A.P.
Esquièze S.	65	85	O.T.V.	2500	pseudo-séparatif	F.C.
Azéreix	65	87	O.T.V.	1500	séparatif	A.P.
Génos	65	86	O.T.V.	2000	pseudo-séparatif	A.P.

* société reprise par EPAP, elle-même intégrée ensuite à O.T.V.

A.P. : Aération Prolongée

M.C.: Moyenne Charge

III.2 - Dimensionnement des installations

Lors du dimensionnement des installations, les principaux paramètres retenus sont :

- les débits moyens et de pointe des effluents d'entrée.
- la charge organique à traiter.

Une partie des données est présentée dans le tableau ci-dessous.

De plus, le dimensionnement correct des pompes du poste de relèvement est un élément important pour un bon fonctionnement des ouvrages situés à l'aval.

Par comparaison avec le débit de pointe admissible par temps sec sur l'installation, on notera, des possibilités de relèvement supérieures à la pointe maximale retenue lors du dimensionnement, pouvant aller jusqu'à un facteur 2.

		NOMINAL		DIMENSIONNEMENT DU RELÈVEMENT (CONSTRUCTEUR)				
SITES	DÉBIT JOURNALIER (m³/j)	DÉBIT MOYEN (m³/h)	DÉBIT DE POINTE temps sec (m³/h)	NOMBRE DE POMPES	DÉBIT MAXI (m³/h)*	RAPPORT DÉBIT MAXI / DÉBIT DE POINTE		
Vallon P. A.	900	37,5	85	2 P + 1 S	100	1,2		
Volonne	700	29,2	73	1P+1S	70	1		
Benesse M.	335	13,9	42	2 P + 1 S	84	2		
Esquièze S.	500	20,8	65	2 P + 1 S	64	2		
Azéreix	300	12,5	35	1 P + 1 S (2 x 50 m ³ /h)	50	1,4		
Génos	400	16,7	44,5	1 P + 1 S (2 x 45 m ³ /h)	45	1		

P: pompe

S: pompe de secours

III.3 - Caractéristiques des ouvrages précédant le décanteur lamellaire

Avant d'entreprendre l'analyse détaillée des décanteurs lamellaires et l'étude de leurs performances hydrauliques, il s'avère intéressant d'analyser les caractéristiques des ouvrages précédant la filière.

Les principaux résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous qui appelle les commentaires suivants :

 les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage, plus particulièrement dans la filière décantation lamellaire.

Dans les installations étudiées, les dégrilleurs installés sont le plus souvent automatiques et d'un

entrefer d'environ 25 mm.

- le dégraisseur a pour objet de retenir les particules graisseuses, son fonctionnement est basé sur la remontée des particules de graisse par l'intermédiaire d'un bullage très fin (fines bulles Ø < 1).
 L'ensemble des installations comporte un ouvrage de dégraissage. Leur efficacité semble souvent très limitée compte tenu de la présence en quantité élevée de particules de graisses au niveau du décanteur. Ce dysfonctionnement est essentiellement dû à un bullage inadapté (grosses bulles).
- le dernier point important au niveau de la conception est le système de communication entre le bassin d'aération et le décanteur. Le suivi des installations a révélé l'incidence du type d'alimentation sur les à-coups hydrauliques au niveau du décanteur lamellaire.

		BASSIN D'	BASSIN D'AÉRATION		
SITES	DÉGRILLEUR	LARGEUR ENTREFER (en mm)	DÉGRAISSEUR	SYSTÈME D'AÉRATION	CIRCULATION DES EFFLUENTS
Vallon P. A.	Auto	25	oui	Turbine	Surverse
Volonne	Auto	25	oui	Surpresseur	VC
Benesse M.	Auto	25	oui	Surpresseur	VC
Esquièze S.	Auto	25	oui	Surpresseur	Surverse
Azéreix	Absent		oui	Turbine	Surverse
Génos	Panier fosse de relevage	25	oui	Surpresseur	Surverse

Auto: Automatique VC: Vase Communicant

^{*} sans la pompe de secours

III.4 - Caractéristiques des décanteurs testés

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des décanteurs testés.

SITES	Nombre Décanteurs	Hauteur plaques (en mm)	Écartement plaques (en mm)	Angle inclinaison	Matériau
Vallon P.A.	2	2,5	0,10	55°	P.V.C.
Volonne	1	2,5	0,10	55°	P.V.C.
Benesse M.	1	2,5	0,10	60°	Galva
Esquièze S.	1	3	0,10	60°	Galva
Azéreix	1	3	0,10	60°	Galva
Génos	1	3	0,10	60°	Galva

Il appelle les commentaires suivants :

- plaques

Les caractéristiques des plaques se différencient sur plusieurs points :

- hauteur: une hauteur plus élevée de la plaque permet un gain de surface projetée. Par contre elle augmente le facteur d'épaississement de la boue et peut induire des concentrations trop fortes à la base des plaques et faciliter ainsi un éventuel colmatage.
- nature : deux types de matériau P.V.C. et tôle galvanisée. La nature du matériau recherchée est importante sur trois points :
 - 1. rugosité la plus faible possible.
 - 2. rigidité,
 - 3. longévité.

Le Galva, au cours des années, révèle une rugosité plus élevée. Celle-ci empêche le glissement de la boue et entraîne des dysfonctionnements liés à :

- 1. des phénomènes d'anaérobiose sur les plaques,
- 2. des phénomènes de colmatage.

- écartements

L'écartement moyen entre les lamelles est de 10 cm. Il est important que les écartements soient homogènes et stables. Pour cela, différentes techniques de rigidité sont retenues :

- *entretoises* : la forme de l'entretoise est importante pour éviter l'accrochage et diminuer les risques de colmatage,
- profilé : augmente la rigidité des plaques utilisées,
- plaques de dimension faible pour le P.V.C. Une jonction non étanche des plaques peut être une source de remontée de boues.

Ces différents points perturbent l'homogénéisation de la circulation des fluides et modifient ainsi les vitesses de circulation.

- angle d'inclinaison

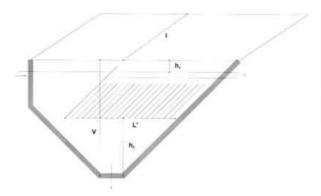
Il permet de faciliter le glissement de la boue. Un angle plus faible entraîne l'augmentation de la surface totale projetée mais pénalise la surface au miroir.

Les sites étudiés ont présenté deux angles d'inclinaison, 55° et 60°, avec un angle plus élevé pour les plaques en tôle galvanisée pour compenser sa plus grande rugosité.

D'autres points ont été étudiés et sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Certains points, en particulier le dimensionnement de certaines parties de l'ouvrage ne sont pas énumérés pour des raisons de confidentialité de l'état d'avancement des travaux de recherche du constructeur dans ce domaine.

		VOLUME					ty	pe de gould	otte	fosse a	à boue
SITES	surface totale projetée (m2)	(m3) ouvrage de décan- tation V	hauteur plaq./ goul. (m) h1	hauteur trémie (cm) h2	longueur du bloc lamellaire (m) L'	largeur des plaques (m)	forme	matériau	sortie	forme	reprise boues
Vallon P.A.	123	45	30	1	2,80	2,75	demi- cylindre	P.V.C.	orifice à la base	paralléli- pipédique	raclé
Volonne	132	85	80	3,10	2,90	5,60	rectan- gulaire	galva	lame déversante	trémie	pompe
Benesse M.	85	48	35	2,70	3,40	3,40	rectan- gulaire	galva	orifice à la base	trémie	pompe
Esquièze S.	105	41	20	2,20	2,70	3,90	rectan- gulaire	galva	orifice à la base	trémie	pompe
Azéreix	67	35	15	1,90	1,60	5,06	rectan- gulaire	galva	orifice à la base	trémie	pompe
Génos	75	32	15	1,75	2,00	4,25	rectan- gulaire	galva	orifice à la base	trémie	pompe



Des points sur la conception de l'ouvrage sont importants, en particulier :

- la part de surface représentée par le bloc lamellaire par rapport à l'ouvrage complet doit être la plus élevée possible. En effet, un des avantages de la décantation lamellaire est sa compacité;
- une valeur trop élevée peut entraîner des difficultés de circulation de la boue, liées à des phénomènes de frottements dus à la proximité de la paroi, et pénaliser la répartition homogène dans le bloc;

- le volume de la fosse de stockage qui participe à la répartition de la boue est relativement faible et représente 20 % du volume total de l'ouvrage. En forme de trémie elle permet l'écoulement, la concentration et éventuellement le stockage des boues qui seront ensuite reprises par pompage au point bas et renvoyées dans le bassin d'aération. Cette trémie aux parois fortement inclinées (même inclinaison que les plaques) a dans l'ensemble des hauteurs variables de 1,75 à 3,10 m.

Différents détails de conception ont également une importance :

- la distance (L') entre le point d'introduction et la dernière lamelle du décanteur : sur les sites étudiés, cette longueur varie de 1,60 à 3,40 m;
- la section de la zone d'introduction de la boue au niveau de la fosse est un point important;
- la hauteur (h₁) entre le haut des plaques et la goulotte des eaux de sortie est très variable d'un site à l'autre : de 0,15 à 0,80 m;
- le type de goulotte et sa forme sont différents selon les installations.

TROISIÈME PARTIE : MESURES HYDRAULIQUES

Les installations retenues présentent des qualités de boues (Indice de Boue) ou des concentrations différentes. Ce choix est volontaire, il permet de définir la charge hydraulique limite admissible pour différents types de boues (CTGREF, 1979 et BROUTIN, 1974).

I - Principe des mesures

Sur une installation donnée, la charge hydraulique est augmentée, son accroissement entraîne la montée du voile de boue dans l'ouvrage.

La charge hydraulique maximum est obtenue lorsque le voile de boue est maintenu en haut des plaques avant son entraînement vers le milieu récepteur. Ce départ est caractérisé, en dehors des observations visuelles, par des mesures physiques :

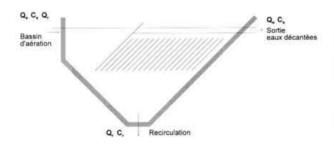
- évolution du voile de boue dans l'ouvrage,
- mesure de la turbidité sur les eaux de sortie : une courbe d'étalonnage MES-turbidité a été préalablement établie sur un site et confirmée sur les autres installations (cf annexe III).

On retiendra comme valeur limite, une concentration en MES ≤ 30 mg/l, soit le niveau e de la circulaire interministérielle de novembre 1980.

Lorsque le débit maximum est atteint, le système est laissé en équilibre pendant 1 à 2 heures. La constance de la turbidité de l'échantillon de sortie ainsi que la stabilité du voile de boue dans les lamelles témoignent de l'état d'équilibre du système.

Différents prélèvements sont effectués pour vérifier l'équilibre à partir d'un bilan en matières sèches. En effet, l'équilibre hydraulique du système peut-être vérifié à partir du bilan en matières sèches dans le décanteur.

$$(Qe + Qr) Ce = Qr Cr + Qe Cs$$



Qe : Débit des boues d'aération

Qr : Débit des boues de recirculation Ce : Concentration de la liqueur aérée

Cr : Concentration des boues de recirculation

Cs: Concentration des boues en sortie

Cs ≅ 0

II - Mise en oeuvre des tests hydrauliques

Les mesures s'effectuent en différentes étapes :

- 1 mise en fonctionnement continu de la recirculation et de l'aération des boues. Ce fonctionnement permet d'alimenter l'ouvrage de décantation par des boues de concentration homogène;
- 2 obturation de la canalisation de sortie de l'eau épurée et recirculation de ces eaux dans le bassin d'aération au moyen de pompes annexes;
- 3 arrêt de l'alimentation de la station ;
- 4 recherche de l'équilibre hydraulique, en modifiant par palier le débit d'alimentation du décanteur;
- 5 attente de l'équilibre pour chaque régime hydraulique en mesurant le niveau du voile en plusieurs points sur l'ouvrage;
- 6 la stabilité du voile de boue et de la turbidité des eaux de sortie témoigne de l'état d'équilibre : maintien de cet équilibre durant une heure au moins ;
- 7 mesure des débits correspondant à l'équilibre limite, prélèvements d'échantillons instantanés à l'entrée et sortie du décanteur, ainsi qu'au recyclage;
- 8 remise en fonctionnement normal de la station.

III - Mesures proprement dites

L'exploitation des résultats et leurs interprétations nécessitent l'acquisition d'un certain nombre de données.

III.1 - Caractéristiques des boues alimentant l'ouvrage

Différentes mesures ont été pratiquées pour caractériser qualitativement et quantitativement les boues du bassin d'aération.

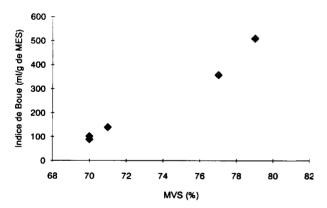
L'ensemble des données est rassemblé dans le tableau page suivante.

SITES	рН	conductivité	Température	MES	Indice de Boue	Vc	MVS
		(μS/cm)	(°C)	(g/l)	(ml/g)	(ml)	(%)
Vallon P.A.	8,3	750		2,85	102	291	70
Volonne	7,3	650	9	1,85	358	662	77
Benesse M.	6,8 6,7	310 300	12 12	1,25 2,99	140 130	175 390	71
Esquièze S.	6,7	300	10	3,15	155	490	
Azéreix	7,0	410	8,5	2,79	510	1430	79
Génos	7,4	450	6	7,4	90	665	70

Ces résultats appellent les remarques suivantes :

- sur le site de Benesse-Maremne, deux mesures hydrauliques ont pu être effectuées en abaissant le taux de boue dans le bassin d'aération ;
- les différences de température sont liées à la période des mesures et à la température des effluents collectés ;
- des mesures d'O₂ et de potentiel d'oxydo-réduction ont été effectuées mais ne sont pas représentatives d'un régime normal de fonctionnement des installations en raison de la marche en continu de l'aérateur pour les besoins des mesures;
- les matières en suspension des boues sont assez faibles (de 1,3 à 3,1 g/l) à l'exception d'un site. La teneur relative en matières volatiles en suspension varie de 70 à 79 % en relation avec la nature de la boue comme le montre la relation suivante :

Relation Indice de Boue - MVS



 l'aptitude à la décantation est très variable avec les IB s'étageant de 90 à 510 ml/g de MES.

Deux stations sont confrontées à un développement important de bactéries filamenteuses.

Ces variations de MES et de l'Indice de Boue vont permettre de déterminer la charge hydraulique maximale pour différentes qualités de boue et/ou de concentrations. Ces deux derniers paramètres sont intégrés par le volume corrigé qui correspond au produit : IB x MES (Etude n° 45 du CTGREF – Cf annexe n°I).

III.2 - Equilibre hydraulique du système

Lorsque la vitesse hydraulique maximale est atteinte, il convient de vérifier à partir du bilan en matière sèche que le système est bien en équilibre.

A ce moment, la concentration des boues de recirculation est fixée par le taux de recirculation comme le montre l'expression suivante :

$$(Qe + Qr) Ce = Qr Cr$$

Le taux de recirculation (en %) est le rapport du débit de la pompe de recirculation sur le débit des effluents à l'entrée de la station soit :

$$t = \frac{Qr}{Qe} \times 100$$

Le facteur d'épaississement f est le rapport des concentrations des boues recirculées sur les boues dans le bassin d'aération.

$$f = \frac{Cr}{Ce} = \frac{Qr + Qe}{Qr} = 1 + \frac{Qe}{Qr}$$

$$d'où \qquad f = 1 + \frac{Qe}{Qr}$$

$$t$$

Donc lors d'un fonctionnement correct de l'installation, le taux de recirculation couramment employé est de l'ordre de $t=150\,\%$ ce qui donne à l'équilibre un facteur d'épaississement de f=1,65.

Les données collectées figurent dans le tableau suivant :

SITES	Qe (m3)	Qr (m3)	Ce (mg/l)	Cr (mg/l)	Taux de recircula- tion (%)	Facteur d'épaissis- sement
Vallon P.A.	47	64	2,85	4,83	135	1,73
Volonne	25	51	1,85	2,82	205	1,49
Benesse M.	62	35	1,25	3,31	56	2,77
Esquièze S.	25	88	3,15	4	350	1,28
Azéreix	6	60	2,79	2,8	1000	1,10
Génos	10	15	7,4	13,1	150	1,66

Pour l'ensemble des stations, l'équilibre hydraulique est atteint :

avec un exemple pour la station de Volonne

$$(25 + 51) 1.85 \cong 51 \times 2.82$$

Les réglages des installations testées, avant nos mesures, ont révélé des taux de recirculation très différents d'une station à l'autre comme le montre le tableau suivant :

stations	Vallon P.A.	Volonne	Benesse M.	Esquièze S.	Azéreix	Génos
taux de recirculation (en %)	266	310	50	400	1200	30

Les débits des pompes de recirculation sont souvent très élevés comparé aux 150 % préconisé lors du dimensionnement. Cela s'explique :

- par la sous-charge hydraulique de l'installation
- ou par un dimensionnement trop élevé.

III.3 - Suivi de la qualité de l'eau de sortie

En parallèle, le suivi du voile de boue par siphonage dans les lamelles permet de mesurer la limite hydraulique du système.

Des prélèvements sont effectués sur les effluents de sortie pour confirmer la limite hydraulique du système par la mesure des MES.

Sur le terrain, des mesures de turbidité ponctuelles du rejet ont permis d'atteindre l'état limite.

IV - Résultats

Deux approches sont possibles pour déterminer la limite hydraulique admissible de l'ouvrage soit :

- par le suivi du voile de boue, technique difficile à mettre en oeuvre mais pratique dans le cas des décanteurs secondaires (Cf. Annexe IV);
- par l'équilibre hydraulique limite avant entraînement des boues.

Ces deux méthodes ont été étudiées parallèlement sur chaque installation, les résultats sont les suivants :

SITES	Q limite	VH	Vc	MES	IB
	(m3/h)	(m/h)	(ml)	(mg/l)	(ml/g de MES)
Vallon P.A.	47	0,75	291	2,85	100
Volonne	25	0,19	660	1,85	360
Benesse M.	62 35	0,73 0,41	175 390	1,25 2,99	140 130
Esquièze S.	25	0,24	490	3,15	155
Azéreix	6	0,09	1430	2,79	510
Génos	10	0,13	665	7,4	90

La représentation graphique donne la courbe ciaprès (voir page suivante).

Elle a été obtenue en recherchant l'expression mathématique donnant le meilleur coefficient de corrélation.

Il ressort de cette analyse que le meilleur ajustement est obtenu à partir d'une courbe exponentielle :

$$Q_F = 1,2512 e^{-0,0031 * Vc}$$

avec Q_F = charge hydraulique limite admissible, en m^3/m^2 .h

Vc = Volume corrigé = IB*MESavec $r^2 = 0.97$

L'analyse statistique a nécessité la suppression d'un site : la station de Vallon Pont d'Arc. Elle présente une vitesse limite plus élevée. Cette amélioration est liée principalement :

- au ratio surface bloc lamellaire/surface de l'ouvrage relativement faible (58 %), ce qui facilite ainsi la répartition de la boue sous l'ensemble du bloc (voile de boue horizontal),
- à la forme et au volume de la fosse à boue (parallélipipédique) ; ce qui diminue les forces de frottement paroi - boue.

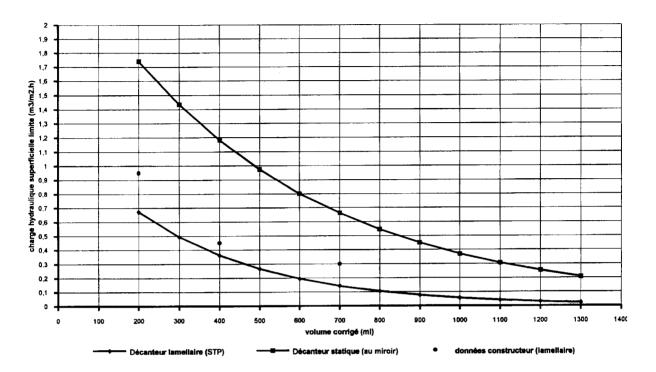
A partir de cette courbe, la valeur de la charge hydraulique limite admissible d'un décanteur lamellaire peut être obtenue en fonction de la qualité de la boue et de sa concentration.

Les valeurs sont représentatives de la technologie au moment de l'année de mise en service de l'ouvrage. Depuis, des travaux d'amélioration ont été apportés par le constructeur sur cette technique et donnent les résultats suivants (Cf courbe : données constructeurs).

L'allure de la courbe est assez proche de celle obtenue sur les décanteurs statiques.

CHARGE HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE LIMITE DANS UN DÉCANTEUR LAMELLAIRE EN BOUES ACTIVÉES

Cas d'installation de petites collectivités à alimentation frontale.



QUATRIÈME PARTIE: ANALYSES ET COMMENTAIRES DES RÉSULTATS

I - Comparaison des vitesses hydrauliques de dimensionnement avec les vitesses limites des ouvrages

Dans le cas des installations en aération prolongée, les valeurs classiquement retenues lors du dimensionnement des décanteurs lamellaires sont:

	DÉBITS		
	MOYENS POINTES		
Vitesse de Hazen m³/m².h	0,21	0,58	

D'après la courbe expérimentale obtenue, la vitesse de pointe correspondant à la vitesse limite de Hazen de l'ouvrage donne un volume corrigé de :

Dans le cas d'une station fonctionnant en aération prolongée, ce volume corrigé est très faible et rarement obtenu. En effet, cela suppose, en pratique, un indice de boue de l'ordre de 80 ml/g et une concentration en MES égale à 3 g/l.

Remarque: Rappelons qu'à partir d'une enquête nationale, les stations d'épuration fonctionnant dans le domaine de l'aération prolongée donnent le plus souvent un volume corrigé de :

$$I_B = 200$$
MES = 3,0
 $Vc = 600$

Ce qui entraîne une vitesse limite admissible de dimensionnement de l'ordre de 0,2 m³/m².h.

Notons que le constructeur retient actuellement des valeurs de l'ordre de 0,3 à 0,4. Ces valeurs sont liées aux avancées technologiques récentes.

Sur les installations testées, les vitesses de Hazen limites admissibles et les vitesses moyennes de fonctionnement mesurées sont comparées sur le graphe ci-après :

L'ensemble des vitesses de Hazen sur le débit moyen est inférieur aux vitesses limites. Pour certaines installations, au moment des débits de pointe, la marge de sécurité est relativement faible et un entraînement de boue a eu lieu sur quelques installations.

Pour ces stations, des précautions devront être prises :

- réguler les débits au maximum,
- éviter les à-coups hydrauliques, induits par les cycles de fonctionnement des pompes de relevage et de recirculation,
- effectuer des extractions de boue pour diminuer le volume corrigé, ce qui entraîne une élévation de la vitesse limite de Hazen.

Pour des installations dont la qualité de boue est très médiocre et de façon chronique, limitant ainsi les capacités hydrauliques de l'ouvrage, il convient de résoudre ce dysfonctionnement biologique.

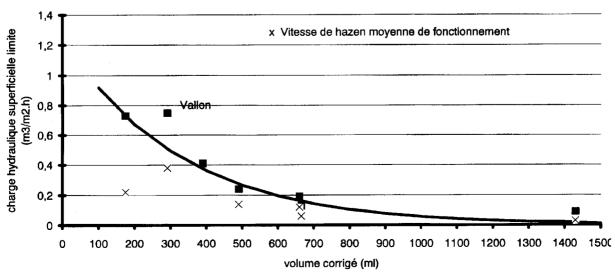
II - Comparaison décantation statique décantation lamellaire

La décantation lamellaire a pour avantage principal un gain de place important. Son application est souvent recherchée lorsque la pression foncière est importante, sur des sites où le traitement des odeurs (volume à traiter plus faible) est considéré comme indispensable ou lorsque les contraintes climatiques nécessitent la couverture des ouvrages.

Il est important de connaître le gain de place réel pour une même qualité de boue.

La représentation graphique suivante est la charge hydraulique superficielle limite en fonction du volume corrigé.

Cette charge ou vitesse hydraulique limite admissible est ramenée :



- au mètre carré de surface totale projetée pour la décantation lamellaire, et
- au mètre carré de la surface au miroir de l'ensemble de l'ouvrage pour la décantation statique.

Ces courbes sont obtenues pour la :

 décantation statique à partir des travaux du CTGREF (Étude N° 45) sur des petites collectivités.

$$Y = 2,56 e^{-1,93 * 0,001 X}$$

- décantation lamellaire à partir des résultats acquis lors de notre étude sur les installations dont les principales caractéristiques sont :
 - hauteur des plaques
 angle d'inclinaison
 écartement
 2,5 à 3,0 m
 55 à 60°
 0,10 m

L'allure de la courbe est de type exponentielle avec pour équation :

$$Y = 1,2512 e^{-0,0031 X}$$

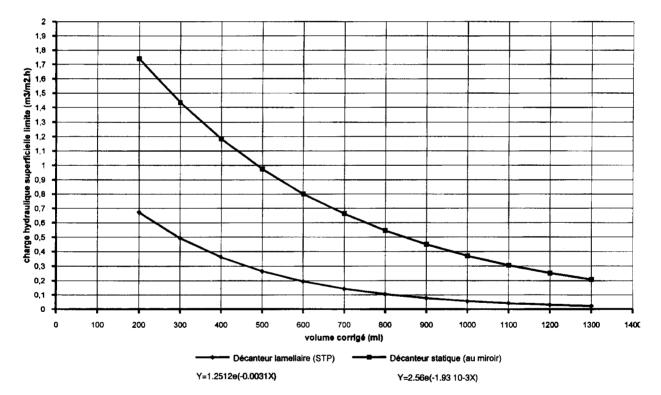
En moyenne, le gain de place est de :

- 1,85 pour une collectivité de 1 000 éq.hab.
- 2,44 pour une collectivité de 20 000 éq.hab.
- 3,48 pour une collectivité de 50 000 éq.hab.

On notera un gain toujours plus important pour des volumes corrigés faibles. Ceux-ci sont plus facilement obtenus sur des installations fonctionnant dans des domaines de charges plus élevées, présentant l'avantage :

- d'une qualité de boue relativement bonne, et
- d'une concentration en MES du bassin d'aération plus faible.

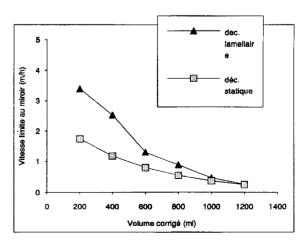
CHARGE HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE ADMISSIBLE DANS UN DÉCANTEUR SECONDAIRE



Pour étudier le gain de place réel, les charges hydrauliques ont été ramenées à la surface au miroir de l'ouvrage.

Plusieurs scénarios pour des collectivités de taille différentes ont été calculés, les résultats sont situés à l'annexe V.

Les ratios des vitesses au miroir nous indiquent le gain de place réel. Il est variable suivant la qualité de la boue comme le montre le graphique suivant :



III - Créneau d'application

La présente étude a permis de déterminer les vitesses hydrauliques limites pour les décanteurs lamellaires.

Leur comparaison avec les décanteurs statiques a permis de définir le gain de place réel.

Il est différent selon :

- les débits collectés (taille de l'installation),
- le volume corrigé de la boue.

Le meilleur gain de place obtenu est de 4,7 pour une collectivité de 50 000 éq.hab. et un volume corrigé de 200.

Le choix de la décantation lamellaire s'avère donc intéressant pour :

- des collectivités importantes, ou
- des boues de très bonne qualité : celles ci se trouvant généralement sur les stations fonctionnant dans le domaine de charge élevée ou sur cultures fixées.

CINQUIÈME PARTIE: RECOMMANDATIONS TECHNIQUES - DIMENSIONNEMENT - PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT - EXPLOITATION DES OUVRAGES

I - Dimensionnement de l'ouvrage

Le dimensionnement d'un décanteur lamellaire fait appel à deux grandeurs caractéristiques :

- la surface, et
- la profondeur

A partir de l'estimation de l'ensemble des différents paramètres, la surface totale projetée est égale à :

Surface totale projetée =

Vitesse ascensionnelle limite

Le précédent chapitre a montré que les performances des décanteurs variaient en fonction de deux paramètres : la qualité de la boue (IB) et sa concentration.

L'ensemble de ce chapitre est illustré par un exemple situé à l'annexe V.

I.1 - Détermination de la surface totale projetée

Les données de base indispensables au calcul de la surface sont :

- le débit de pointe admissible,
- la vitesse ascensionnelle.

I.1.1 - Le débit de pointe admissible

Le volume journalier d'eaux usées rejeté par l'ensemble des usagers permet de calculer un débit moyen horaire. Le débit de pointe à l'entrée de la station est obtenu à partir de ce débit moyen horaire, affecté d'un coefficient de pointe variable suivant le type de réseau. Dans le cas d'un réseau séparatif, pour une collectivité située en zone rurale, ce coefficient multiplicateur est voisin de 3. Le dimensionnement du décanteur s'effectue sur la base du débit de pointe admis dans la station.

Les caractéristiques du dispositif de pompage sont déterminées en fonction de ce paramètre et de la hauteur de relevage.

Dans le cas de la décantation lamellaire (volume d'ouvrage faible), l'alimentation de la station devra être la plus régulière en évitant des à-coups hydrauliques importants avec un dimensionnement des pompes inférieur au débit admissible des ouvrages.

Lors de débits plus importants, la station peut supporter la surcharge pendant une faible durée, liée à l'inertie du voile de boue. Sur des stations dont le voile de boue est haut, un à-coup hydraulique entraîne immédiatement une perte de boue.

Dès que le volume d'eau transitant dans le réseau est supérieur au débit de pointe, une régulation peut être envisagée par asservissement du groupe de relevage à une horloge.

Les réglages des temps de fonctionnement sont laissés à l'initiative de l'exploitant qui apprécie le comportement des boues dans le décanteur.

Ces considérations montrent bien l'importance de la maîtrise des débits de pointe, dépendant euxmêmes du type et de la qualité du réseau (étanchéité, contrôle des raccordements).

I.1.2 - La vitesse ascensionnelle

La concentration de la liqueur aérée

L'importance de la concentration dans le processus de décantation a déjà été soulignée. En toute rigueur, il serait donc logique de considérer comme donnée de base du dimensionnement la teneur en MES maximale.

Dans le cas d'une épuration des eaux usées par boues activées en aération prolongée, l'intervalle moyen de concentration de la liqueur aérée correspondant à un traitement correct varie entre 3 et 4 g/l de MES.

Pour résumer, on retiendra les valeurs suivantes pour les bassins en cultures libres suivant les différents domaines de charge :

MES (
Forte charge	2 à 2,5
Moyenne charge	2,5 à 3,5
Faible charge / aération prolongée	3 à 4

L'indice de boue

A partir de données recueillies sur de nombreuses installations et une meilleure connaissance de facteurs favorables à un développement des bactéries filamenteuses, le tableau suivant est une prévision de la qualité moyenne des boues.

	Type d'effluent	Domaine de charge	Indice de boue de référence (ml/g de MES)
	domestique	aération prolongée	200
Boue activée	urbain	moyenne charge	150
		forte charge	120
Cultures fixées	urbain/ domestique	très forte charge	50

La vitesse ascensionnelle est obtenue à partir de la courbe suivante qui donne la charge hydraulique limite de la décantation en fonction du volume corrigé.

CHARGE HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE LIMITE DANS UN DÉCANTEUR LAMELLAIRE EN BOUES ACTIVÉES

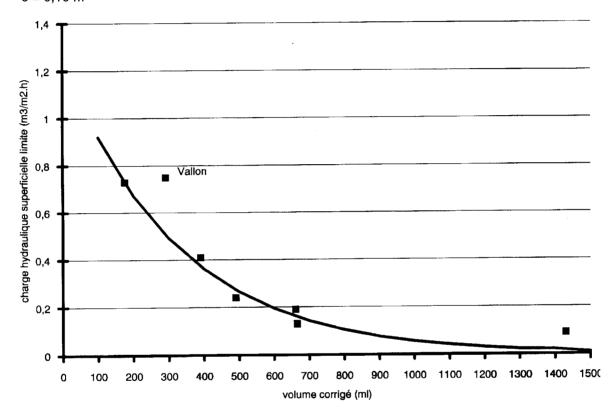
Cas d'une alimentation frontale

Caractéristiques des plaques

L = 2.50 m

= 55 à 60°

e = 0,10 m



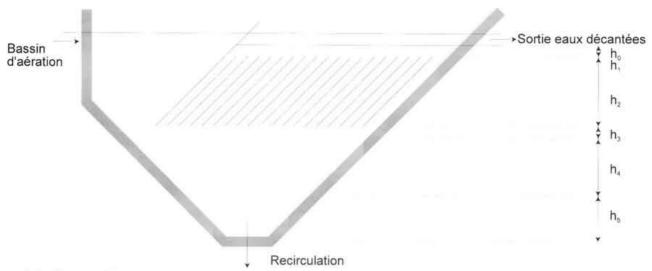
Le volume corrigé tient compte de la décantabilité des boues et de leur concentration.

On retiendra une vitesse ascensionnelle de dimensionnement :

	MES	IB	Vc	Vitesse de Hazen (m³/m².h)
aération prolongée faible charge	4	200	800	0,12
moyenne charge	3	120	360	0,40
forte charge	2	100	200	0,65

I.2 - Détermination des hauteurs de l'ouvrage

Un ouvrage de décantation est composé de différentes hauteurs utiles. Celles-ci sont déterminées essentiellement en fonction du comportement de la boue. Exemple: Cas des décanteurs étudiés (petites collectivités < à 3 500 ég.hab.)



h0 : Hauteur d'eau au-dessus des plaques

Sa valeur correspond à la distance entre le haut des plaques et la goulotte d'évacuation des eaux. La distance préconisée souhaitable en l'absence de calcul précis (modélisation) est de 0,50 m pour éviter des phénomènes d'aspiration au niveau de la goulotte.

h1: Zone eau clarifiée

Elle se situe dans le haut des plaques. Cette hauteur peut varier entre 0,20 et 0,50 m. Une hauteur de 0,20 m peut être retenue si la distance h0 est correctement dimensionnée.

h2: Zone de décantation

Cette zone correspond à la hauteur occupée par les plaques.

h3 : Zone de répartition de la liqueur aérée

Elle correspond à une zone de turbulence, sa hauteur est très difficile à définir. On peut l'estimer à partir d'un calcul théorique pour l'établissement d'un régime laminaire. Ce calcul révèle un ordre de grandeur maximum de 0,15 m à 0,20 m.

h4: Zone d'épaississement

Sa hauteur est définie par la formule suivante :

Concentration de la liqueur aérée x Indice de Boue

1000

Cette formule est retenue dans le cas de l'alimentation de l'ouvrage par le haut.

h5: Zone de stockage

Dans le cas d'un décanteur lamellaire dont le volume d'ouvrage est relativement faible par rapport au volume du bassin d'aération, cet ouvrage est limité dans ses possibilités de stocker une partie des boues.

II - Paramètres de fonctionnement

II.1 - Le taux de recirculation - Facteur d'épaississement

La recirculation des boues du décanteur vers le bassin d'aération a pour objet de maintenir une concentration adéquate de biomasse pour permettre un traitement correct de la pollution apportée.

Le débit du dispositif de recirculation ne doit pas être trop élevé pour plusieurs raisons :

- éviter de fortes turbulences en fond du décanteur.
- permettre un épaississement de la boue,
- diminuer le coût énergétique.

Le taux de recyclage moyen correspondant à un fonctionnement normal de l'installation est en général de 100 à 150 % du volume journalier admis dans la station.

Ce taux de recirculation va modifier le facteur d'épaississement qui est égal à :

Concentration de la boue recirculée

Concentration de la boue à l'entrée du décanteur

Le facteur d'épaississement est de 1,5 à 2 pour un taux de recirculation de 100 à 200 % (obtenu à partir de la formule du bilan des matières sèches).

f =

Remarque: A partir du bilan en matières sèches dans le décanteur, le facteur d'épaississement en régime stabilisé (f) est obtenu suivant la formule :

100 % de recirculation : f = 2150 % de recirculation : f = 1,7200 % de recirculation : f = 1,5

Dans le cas du lamellaire, une recirculation la plus homogène possible est nécessaire car sa mise à l'arrêt ou son redémarrage provoque des à-coups très importants sur l'ouvrage, à-coups qui peuvent être aggravés par le type d'alimentation.

Une recirculation en continu est préférable. Pour maintenir un fonctionnement permanent de la pompe de recirculation, l'installation de pompes à débit variable est un moyen de réguler le débit sur l'ouvrage.

II.2 - Temps de séjour

Le temps de séjour de l'eau dans le décanteur est défini par le rapport du volume du bassin sur le débit d'alimentation de l'ouvrage. Il est un compromis entre la nécessité d'un épaississement suffisant et le maintien de l'activité biologique avant son retour dans le bassin d'aération.

Sur la base d'un taux de recirculation de 150 %, le temps de séjour sur les installations testées est de :

- 1 h en moyenne sur le débit moyen, et
- quelques minutes sur le débit de pointe.

Sur ce type d'ouvrage, les temps de séjour sont relativement faibles.

Ils ne doivent pas être à l'origine de fermentation anaérobie ou de dénitrification des boues provoquant la remontée indésirable des boues.

III - Autres recommandations sur la conception et le dimensionnement de la filière

III.1 - Ouvrage précédant le décanteur

Relèvement

Il est important que les débits de pointe admissibles sur l'installation ne soient pas dépassés par un mauvais dimensionnement des pompes au niveau du relèvement ou par un mauvais réglage des poires ou des temps de fonctionnement.

Dégrillage

Afin de minimiser les risques de colmatage du décanteur lamellaire, il est préférable et conseillé d'installer des dégrilleurs automatiques d'entrefer de l'ordre de (ou inférieur à) 1 cm pour le type de plaques testées (e = 0,10 m et plaques planes). Ce poste est fondamental pour un bon fonctionnement de la décantation lamellaire à l'aval.

Déshuileur

Il serait souhaitable d'optimiser son fonctionnement par un meilleur réglage de l'aération (répartition, taille des bulles).

Un système de raclage automatique et efficace est nécessaire sur cet ouvrage. En effet, la présence en quantité élevée de particules de graisse au niveau du décanteur peut faciliter un éventuel colmatage des goulottes de récupération des eaux ou du bloc lamellaire et augmenter les vitesses à certains endroits.

III.2 - Le décanteur lamellaire

III.2.1 - Génie civil

Comme pour l'ensemble des ouvrages de décantation où des risques d'adhérence de boue peuvent entraîner leur remontée par des phénomènes d'anaérobiose, une bonne qualité du revêtement est nécessaire, et dans le cas de fosse en forme de trémie, l'inclinaison des parois est indispensable (sa pente devra être homogène et supérieure à 45 - 50°).

III.2.2 - Bloc lamellaire

Les différentes lamelles doivent répondre aux objectifs suivants :

- rigidité du matériau pour maintenir un écartement fiable dans le temps, avec un nombre limité de raidisseurs,
- longévité du produit au niveau de son aspect lisse,
- mise en place des plaques, en respectant l'étanchéité lors des jonctions.

Le non respect de ces différents points limite les capacités hydrauliques de l'ouvrage (vitesses plus élevées) et augmente les contraintes d'exploitation (filasse et colmatage).

III.2.3 - Alimentation

Selon la technique retenue, les à-coups hydrauliques auront des conséquences plus ou moins importantes. Le décanteur lamellaire, comparé au statique, présente un volume relativement faible. Ainsi, à chaque coup de pompe (relèvement ou recirculation) le comportement hydraulique dans le décanteur est perturbé mais ces perturbations varient selon le type d'alimentation de l'ouvrage, les débits étant beaucoup plus tamponnés dans le cas d'une alimentation en vase communicant.

Ces remarques sont caractérisées par l'exemple suivant :

Exemple:

Volume du décanteur lamellaire		35	m^3
Débit de la pompe de recirculation		60	m³/h
Débit des eaux d'entrée : mesuré	Q moyen =	6	m³/h
théorique	Q moyen =	12,5	m³/h
	O pointe =	35	m ³ /h

Deux possibilités d'alimentation de l'ouvrage :

- Par lame déversante :

Au moment de la mise en route de la pompe de recirculation, le niveau d'eau dans le décanteur lamellaire baisse fortement puisque son alimentation n'est que de 6 m³/h. Les flottants sont déstabilisés puis se répartissent en surface de l'ouvrage. Lorsque le niveau d'eau s'équilibre, ces flottants sont entraînés vers le milieu récepteur ou obstruent les orifices de la goulotte de sortie.

Lors de l'arrêt de la recirculation, les débits instantanés d'alimentation de l'ouvrage sont très importants (égaux à Qe + Qr) et peuvent entraîner des pertes de boues liées uniquement à l'à-coup hydraulique.

- Par lumière communicante :

Les à-coups (arrêt ou fonctionnement des pompes) sont beaucoup moins néfastes car l'ensemble de l'installation s'équilibre, ce qui a pour conséquence d'éviter de forts débits ponctuels sur le décanteur lamellaire.

Son alimentation par lumières immergées est donc souhaitable car les à-coups hydrauliques sont tamponnés.

La fosse de dégazage devra être équipée d'un système automatique de reprise des flottants (système d'aspiration) ou, pour faciliter leur extraction manuelle, posséder des parois inclinées vers un bac de stockage ou silo à boue (ce dernier ouvrage, souvent accolé au décanteur, pourrait faciliter l'évacuation de ces flottants).

Le passage sous le bloc de lamelles doit être suffisamment large pour éviter la création de turbulences néfastes à une bonne répartition de la liqueur aérée, dans le bloc lamellaire. Ces turbulences, accentuées sur les ouvrages possédant une trémie sont liées essentiellement à la géométrie de l'ouvrage.

L'élargissement de cette zone pénalise la surface de l'ouvrage mais une ouverture trop réduite entraîne des passages préférentiels sous le bloc lamellaire et, de ce fait, diminue la surface totale projetée disponible pour la décantation.

La largeur de la zone d'introduction devrait se situer aux alentours de 0,50 m.

III.2.4 - Fosse à boue

Le choix d'une reprise des boues par un système raclé devient obligatoire sur des ouvrages de grande importance.

La longueur de la trémie est aussi un paramètre important. Une valeur élevée peut entraîner des difficultés de répartition de la liqueur aérée sur l'ensemble du bloc lamellaire, des parois trop proches des lamelles créent des frottements et gênent l'introduction de la boue dans les lamelles.

La distance entre la zone d'introduction de la liqueur aérée et la lamelle la plus éloignée ne doit pas dépasser 3,50 à 4,00 m. Des valeurs plus élevées peuvent entraîner une répartition non homogène de la boue dans le bloc lamellaire. Sur des ouvrages plus importants, différents points d'introduction sont souhaitables pour une bonne répartition de la liqueur aérée. Les valeurs annoncées sont obtenues à partir des observations des ouvrages testés. Des données plus précises peuvent être calculées à partir des modèles développés par le constructeur.

III.2.5 - Goulotte de sortie

La forme de la goulotte de récupération des eaux clarifiées devra être en forme de V ou demi-sphérique pour éviter le colmatage des orifices de sortie par les flottants (cas de goulotte à fond plat).

La goulotte doit être implantée :

- perpendiculairement aux lamelles,
- à une distance suffisamment grande du haut des plaques,
- éloignée des parties hétérogènes du bloc lamellaire (par exemple entretoises, jonction de deux blocs de lamelles,...).

Cette goulotte sera équipée d'une cloison siphoïde pour retenir les divers flottants en surface d'ouvrage. Son horizontalité est indispensable pour éviter des vitesses d'aspiration plus importantes dans certaines zones du décanteur.

IV - Exploitation de l'ouvrage

Le suivi des différentes installations permet de dégager quelques règles d'exploitation qui fiabiliseront la qualité du rejet et l'efficacité des décanteurs lamellaires. La principale contrainte concerne l'évacuation des flottants en surface.

Les matières flottantes ont différentes origines :

- liées le plus souvent à un problème biologique, ou
- à un mauvais dégazage de la boue,
- à un problème d'anaérobiose dû à un colmatage partiel dans les lamelles, ou à des dépôts fixés sur les parois de la fosse de répartition des boues, et
- éventuellement à des problèmes de dénitrification.

La quantité importante de flottants nécessite leur évacuation régulière pour éviter leur entraînement vers le milieu récepteur.

Ces contraintes d'exploitation sont minimes mais indispensables afin de faciliter la gestion des ouvrages. Différents aménagements peuvent être réalisés, en particulier :

 faciliter la reprise des flottants pour leur évacuation vers le silo à boue,

- équiper l'ouvrage d'une lame siphoïde en surface pour ramener les flottants vers la zone de dégazage.
- possibilité d'isoler hydrauliquement l'ouvrage ; cet isolement nécessite la possibilité de stocker des eaux dans le bassin d'aération,
- équiper à proximité de l'ouvrage un point d'eau sous pression,
- dissiper au maximum l'énergie à l'entrée de l'ouvrage.

Le travail d'exploitation le plus contraignant consiste à baisser le niveau d'eau dans l'ouvrage par la mise en fonctionnement de la (ou des) pompes de recirculation et par l'arrêt de son alimentation. Cette baisse de niveau permet :

- un décolmatage éventuel des lamelles,
- l'entraînement des différents dépôts sur les entretoises.
- un nettoyage rapide à l'aide d'un jet d'eau sous pression du bloc lamellaire.

L'expérience montre que la baisse de niveau suffit à entraîner l'ensemble des boues vers la fosse. Sur l'ensemble des installations testées, tous les ouvrages dont l'entretien hebdomadaire était effectué, présentaient une absence de flottants.

Le point délicat de cette intervention est la remise en eau de l'ouvrage qui crée systématiquement des quantités de flottants importants. Ceux-ci seront stoppés par la lame siphoïde et évacués manuellement par l'exploitant.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les mesures ont été effectuées sur des installations de faible capacité (< à 3 500 éq.hab.) fonctionnant dans le domaine de l'aération prolongée avec des qualités de boue différentes. Le suivi sur site avait pour objectif la détermination du débit hydraulique admissible maximal de l'ouvrage.

Les travaux entrepris au cours de cette étude ont montré le rôle fondamental de la nature de la boue (concentration - Indice de Boue) sur les performances hydrauliques des décanteurs lamellaires secondaires.

Les résultats ont permis d'établir une relation nette entre la vitesse ascensionnelle limite et la qualité de la boue. L'allure de la courbe est de type exponentielle Q_F ($m^3/m^2.h$) = 1,2512 $e^{-0.0031~Vc}$ avec Vc = volume corrigé (MES . IB) et la vitesse ramenée à la surface totale projetée de l'ouvrage. Cette surface est assez proche de celle déjà obtenue sur les décanteurs statiques à flux vertical mais avec des vitesses ascensionnelles limites admissibles plus faibles.

La meilleure connaissance des capacités hydrauliques de ces ouvrages doit permettre d'affiner le dimensionnement des futures installations, mais aussi d'évaluer les limites hydrauliques des stations existantes.

Le dimensionnement des décanteurs lamellaires nécessite la connaissance des paramètres suivants :

- débit de pointe admissible,
- concentration de la liqueur aérée, et
- indice de boue.

Les hypothèses concernant l'aptitude de la boue à la décantation (Indice de Boue) devront tenir compte des éventuels problèmes biologiques dont les facteurs aggravants sont mieux connus actuellement (en particulier ceux liés à la qualité de l'effluent).

En dehors des limites hydrauliques, ces mesures ont permis également de mettre en évidence un certain nombre de points pénalisant la fiabilité des décanteurs. En grande partie, ils peuvent être améliorés au moment :

DE LA CONCEPTION:

- le dimensionnement des pompes de relèvement devra être inférieur au débit de pointe initialement prévu sur l'ouvrage,
- un prétraitement fiable avec un dégrillage suffisamment fin (maille < au cm) pour éviter d'éventuels colmatages du bloc lamellaire,
- l'alimentation du décanteur s'effectuera par lumière immergée (vase communicant) dans le but de minimiser les à-coups hydrauliques,
- un certain nombre de recommandations sur la conception même de l'ouvrage a été largement développé dans ce document.

DE L'EXPLOITATION:

- dans la plupart des cas, la recirculation est trop élevée. Une recirculation de 150 % du débit entrant est souhaitable, et les cycles de fonctionnement devront être les plus homogènes possibles pour éviter des à-coups hydrauliques sur l'ouvrage,
- un nettoyage régulier (voire hebdomadaire) du bloc lamellaire est souhaitable,
- l'évacuation des flottants doit être facilitée par la mise en place d'un système mécanique de récupération.

L'avantage de cette technique est sa compacité (faible emprise au sol). La comparaison avec la décantation statique révèle un gain de place (surface au sol) d'un facteur 1,8 pour les stations de petites collectivités et fonctionnant dans le domaine de l'aération prolongée. Ce gain augmente avec la taille des collectivités et se situe pour une collectivité de 20 000 éq.hab., à un ratio moyen de 2,4 et pour une collectivité de 50 000 éq.hab, à un ratio moyen de 3,5 pouvant atteindre 4,8 pour un volume corrigé de 200.

Compte tenu des résultats élevés obtenus sur les faibles volumes corrigés (qualité de boue excellente - faibles concentrations), la décantation lamellaire paraît être bien adaptée pour des boues activées, en moyennes ou fortes charges, et pour des cultures fixées, domaines où les paramètres de décantabilité de la boue sont meilleurs.

BIBLIOGRAPHIE

- BLONDEAU (F.), (1986). Développements de la décantation lamellaire dans ses applications à l'épuration des eaux usées domestiques. 9ème Symposium sur le traitement des eaux usées au Canada. Novembre1986, Montréal.
- BROUTIN (J.L.), (1974). Décantation des boues activées. Etude critique des règles actuelles de dimensionnement des décanteurs secondaires des stations d'épuration de communes rurales et recherche de méthodes pratiques pour tester le dimensionnement de ces décanteurs. Mémoire ENITRTS.
- CEMAGREF, (1988). Qualité des boues activées et dimensionnement des décanteurs secondaires, Cahier technique n°14. Mars 88. LYON
- CTGREF, (1979). Etude expérimentale des décanteurs de stations d'épuration situées en zone rurale. Etude n° 45. Novembre 79.
- DEGREMONT, (1989). Mémento technique de l'eau. Tome 1, 9e édition.
- DEGUIN (A), (1978). La décantation lamellaire. La tribune du Cebedeau, n° 414. Mai 78.
- EDELINE (F). L'épuration physico-chimique des eaux. Cebedeau éditeur, Théorie et technologie.
- GIRLING (R.M.), (1977). Experiences with high rate settlers applied to an existing final clarifier, Winnipeg, Pergamon press CANADA, Prog. Wat. Tech., Vol 8, n° 6, pp. 521 530.
- JACQUELINE (G.), THOMAS (G.), (1976). Le séparateur lamellaire à «co-courant». L'eau et l'Industrie, n° 6. Avril 76. Procédé Axel Johnson.
- KINCH, (1952). A theory of sedimentation. Trans. Faraday, Soc. 48, 116 p. 1952.
- LEBLANC (F.), (1987). Théorie, technologie et applications de la décantation lamellaire. Symposium international de Marseille. 5 Novembre 1987.
- RICHARD (Y.), (1977). Le super pulsator. Cebedeau BECEWA. Octobre 77 nº 407.
- RICHARD (Y.), (1974). La décantation lamellaire et ses nouveaux développements. T.S.M. L'eau. Mars 74.
- SLECHTA (A.F.), and CONLEY (W.R.), (1971). Recent experiences in plant scale application of the settling tube concept. Journal WPCF. August 71.
- THURET (C.), (1982). La station d'épuration des eaux usées de la ville d'Ajaccio. Une réalisation exemplaire dans un site exceptionnel. Revue Travaux. n° 570. Octobre 1982.

ANNEXES

ANNEXE I - Procédure expérimentale de l'indice de boue : IB

(CEMAGREF, 1988)

I - Définition

L'indice de boue (noté IB) représente le volume occupé par un gramme de boue après 30 minutes de décantation dans une éprouvette en verre, d'un litre.

Il est calculé à partir de l'expression :

$$IB = \frac{VD_{30}}{Cep}$$

avec:

IB: indice de boue

VD₃₀: volume de boue décanté après 30 minutes

(en ml/l)

Cep: concentration en matières en suspension de

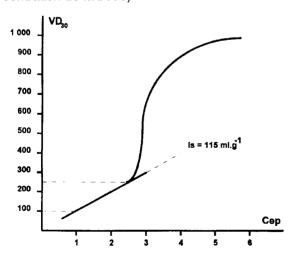
l'échantillon homogénéisé introduit dans

l'éprouvette (en g/l)

II - Règles de mise en oeuvre

Il a été démontré à plusieurs reprises que la vitesse de décantation était influencée par le diamètre de l'éprouvette, la concentration et la décantabilité de la boue (CTGREF, 1979).

Pour que l'indice soit un critère significatif d'appréciation de la décantabilité (ou qualité de la boue), il convient de limiter l'incidence des deux autres facteurs de variation (diamètre de l'éprouvette et concentration de la boue).



Variation du volume décanté avec la concentration en MES dans l'éprouvette.

- Les éprouvettes d'un litre disponibles dans le commerce ont une ouverture de l'ordre de 6 à 6,5 cm.
 Cette valeur «standard» permet de s'affranchir des interférences liées aux variations de diamètre.
- Il est indispensable de procéder à des dilutions pour supprimer l'influence de la concentration. En effet, le volume décanté dépend de la concentra-

tion dans l'éprouvette (Cf. figure précédente). Il faut que le volume décanté soit proportionnel à la concentration pour que l'indice soit stable et donc significatif de la décantabilité des boues. Cette condition est obtenue si VD₃₀ est inférieur à 300 ml.

Par ailleurs, il est souhaitable de ne pas travailler avec des volumes décantés inférieurs à 100 ml/l, car l'incertitude sur le résultat de la mesure des MES devient alors excessive. Il en est de même lorsque les dilutions sont supérieures au dixième: c'est par exemple le cas de boues très filamenteuses dont la concentration initiale (non diluée) est inférieure à 3 g/l.

Pour des milieux à forte conductivité (> 1000 à 1500 μ S/cm), il est recommandé de pratiquer l'analyse des MES par la procédure de filtration lorsque les concentrations à mesurer sont inférieures à 0,5 g de MES par litre.

III - Description du test de décantation

- 1 Prélever un échantillon de boue en sortie du bassin d'aération (l'aérateur étant en fonctionnement depuis 1/4 d'heure) et un échantillon d'eau clarifiée (éviter les flottants).
- 2 Introduire dans l'éprouvette les deux fractions de façon à obtenir une dilution de la boue telle que VD₃₀ soit inférieur à 300 ml. Dans le cas d'une boue inconnue, plusieurs tests doivent être réalisés en parallèle afin de pouvoir choisir la dilution qui fournira un volume décanté inférieur ou égal à 300 ml/l, mais supérieur à 100 ml/l.
- 3 Ajuster le niveau du liquide à 1000 ml avec de l'eau clarifiée.
- 4 Agiter vigoureusement l'éprouvette de bas en haut sans perdre du mélange (obturer avec la paume de la main).
- 5 Poser l'éprouvette sur un plan horizontal stable à l'ombre et déclencher la minuterie (to).
- 6 Au temps to + 30 minutes, noter le niveau du voile de boue (interface boue-eau) dans l'éprouvette. Cette valeur notée VD₃₀ doit impérativement être comprise entre 100 et 300 ml/l.

Remarque:

Les analyses sont effectuées selon la procédure de la norme AFNOR T 90 105 : méthode par centrifugation. Toutefois, lorsque les boues sont très filamenteuses (IB > 500 ml/g), la méthode par centrifugation peut conduire à des erreurs relativement importantes du fait de l'incidence accrue des sels minéraux. Il est alors préférable (et possible, sur des volumes suffisants) d'utiliser la méthode par filtration.

IV - Résultats

L'indice de boue sera exprimé en multiple de 10 pour tenir compte des incertitudes inhérentes à la procédure.

Les indices inférieurs à 100 ml/g correspondent à des boues décantant facilement, les indices > 200 ml/g sont à rapprocher de boues filamenteuses à faible décantabilité.

L'indice déterminé dans les conditions décrites ne varie pas sur une station (que la boue soit prélevée dans le bassin d'aération ou au débouché de la recirculation,...).

V - Calcul et incertitude

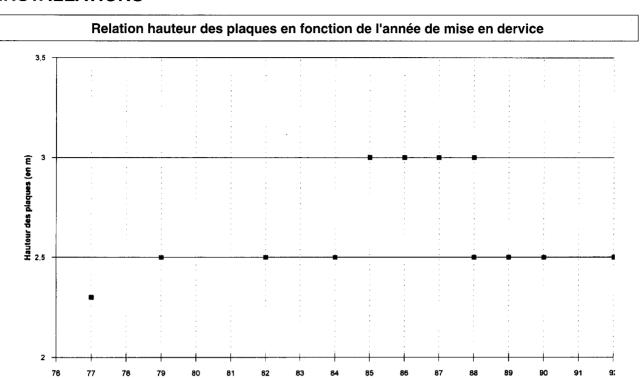
Le résultat est donné par la formule :

IB (ml/g de MES) =
$$\frac{VD_{30} \text{ (ml)}}{\text{Cep (g/l)}}$$

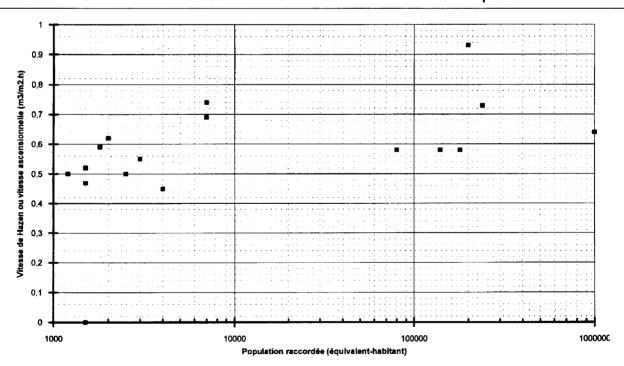
Pour diverses raisons, notamment l'imprécision de l'interface boues-surnageant, la présence de flottants, ..., l'indice de boue est affecté d'une incertitude de l'ordre de 10 %. Il est donc logique de n'exprimer les résultats qu'avec deux chiffres significatifs au maximum.

Pour les indices de boue très élevés, l'incertitude s'accroît et on peut seulement donner l'ordre de grandeur ; par exemple 800 n'est pas à différencier de 700 ou 900. Au-dessus de ces valeurs l'interface ne peut pas, en général, être précisée et l'on pourra indiquer > 1000 ml/g. Au delà d'une dilution au 1/10, le test perd souvent toute signification (notamment en eaux résiduaires urbaines), la répétabilité n'étant plus assurée.

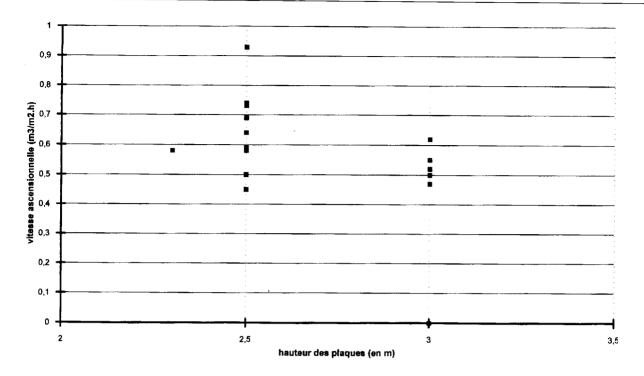
ANNEXE II - DIVERSES RELATIONS OBSERVÉES SUR LES INSTALLATIONS



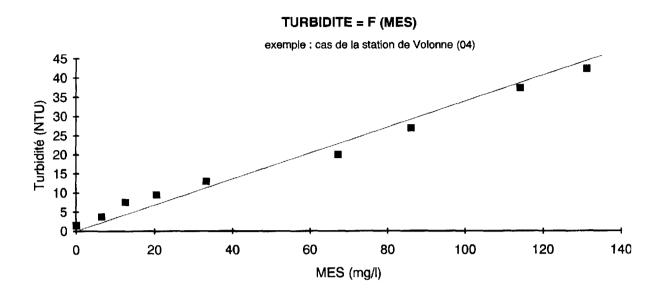
Relation vitesse ascensionnelle de dimensionnement en fonction de la capacité de traitement



Relation vitesse ascensionnelle de dimensionnement en fonction de la hauteur des plaques



ANNEXE III - EXEMPLE DE RELATION ENTRE LA TURBIDITÉ ET LA CONCENTRATION DES MES DES EAUX DE SORTIE



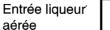
ANNEXE IV: Evolution du voile de boue

Cette technique de mesure du voile de boues n'a pas été retenue dans l'exploitation des résultats pour plusieurs raisons :

- le voile de boue est plus ou moins net suivant la concentration de la boue,
- l'immersion du voile peut être très différente d'un point à l'autre, cette hétérogénéité est due en partie à des passages préférentiels ou à des turbulences créées dans la fosse de répartition.

Le graphique ci-dessous est une illustration de ce suivi.

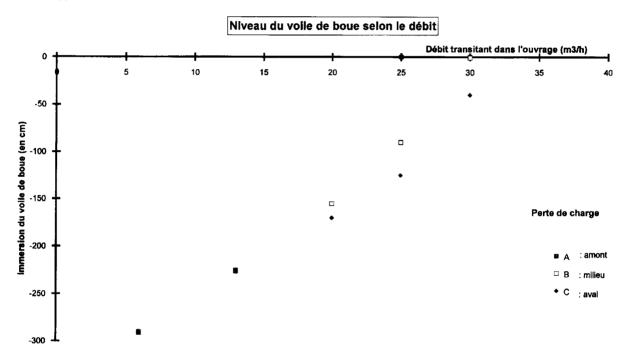
Les mesures ont été effectuées en 3 points sur le décanteur.





On peut noter une certaine horizontalité du voile de boue à petit débit, qui s'estompe avec l'augmentation de débit.

L'entraînement des boues est amorcé par une vitesse de 25 m³/m².h.



ANNEXE V : Dimensionnement d'un décanteur

HYPOTHÈSE = Collectivité de 1 000 éq.hab.

Débit de pointe = pompe de relèvement = 20 m3/h.

Indice de Boue = 150 mi/g de MES.

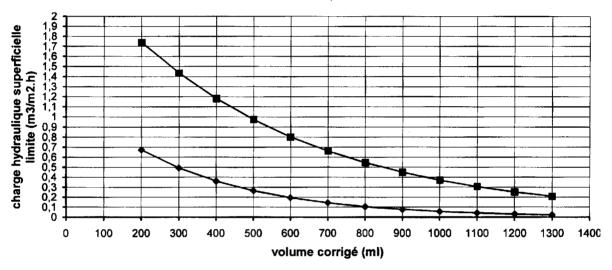
Concentration en matières en suspension du bassin d'aération à l'équilibre = 4 g/l.

A - Cas d'un décanteur statique

 $Vc = 150 \times 4 = 600 \text{ soit } 0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h d'après la}$ courbe ci-après.

Surface du décanteur =
$$\frac{20 \text{ m}^3}{0.8}$$
 = 25 m²

Il s'agit d'un ouvrage circulaire d'un diamètre de 5,6 m.



Décanteur lamellaire (STP)

B - Cas d'un décanteur lamellaire

Vc = 600, soit une vitesse de Hazen limite de $0.195 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

Surface totale projetée =
$$\frac{20 \text{ m}^3}{0,195} = 102,67 \text{ m}^2$$

HYPOTHÈSE = plaques 2,50 x 2,00 m angle d'inclinaison = 60° écartement = 0,10 m

Détermination du nombre de plaques

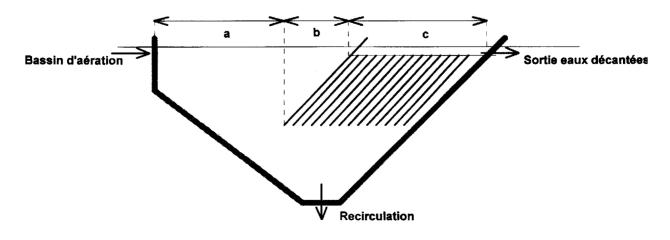
Décanteur statique (au miroir)

Surface totale projetée = $(n - 1) S \cos \alpha$ Nombre de plaques = 42

$$n = \frac{\text{STP}}{\text{S cos } \alpha} + 1 = 42,0$$

Détermination de la surface d'un décanteur

 la largeur du décanteur correspond à la largeur d'une plaque soit 2,00 m



- la longueur est déterminée en fonction de :
 - l'écartement des lamelles (c),
 - la longueur projetée de la dernière plaque (b),
 - la zone d'introduction de la boue (a).
- a : pour dissiper l'énergie, on retiendra une valeur de l'ordre de 0.50 m
- $b: 2.5 \cos 60^{\circ} = 1.25 \text{ m}$
- c: (n 1) plaques x écartement = 4,10 m

L = 0.50 + 1.25 + 4.10 = 5.85 m,soit une surface (L x I) de 11.7 m²

LE GAIN DE SURFACE EST D'UN FACTEUR DE 2.1

REMARQUES:

1 Ces ratios de gain de place tiennent compte uniquement de la surface au miroir de l'ouvrage complet.

Ce gain de surface peut être élevé si l'on tient compte de la forme du bassin ; par exemple, pour un décanteur de 5,6 m de diamètre, il faut approximativement une emprise au sol de 31 m² (5,6 x 5.6)

Nous ne tiendrons pas compte de cette surface car, pour un gain de place maximum, le décanteur peut-être situé au centre d'un bassin d'aération en forme de couronne.

2 Le gain de place augmente avec la capacité de traitement comme le montrent les exemples cidessous.

Une limite maximum pour la partie C doit être préconisée pour faciliter la répartition la plus homogène possible de la liqueur dans le bloc lamellaire. On retiendra un ordre de grandeur de 4 m, soit un bloc composé de 40 plaques maximum. Pour des ouvrages très importants, l'alimentation peut être latérale avec une répartition de part et d'autre du canal et permettre un gain de place plus élevé.

EXEMPLES

EXEMPLE 1

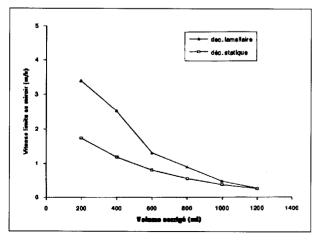
Cas d'une collectivité de 1 000 E.H. Qp = 20 m³/h

Données :

	1			,
Volume	Décantation	Décantation	Décantation lamellaire	
corrigé	statique	vitesse	vitesse	vitesses
	vitesse limite	limite	limite	au
	au miroir (m/h)	stp (m/h)	miroir (m/h)	miroir
200	1,74	0,67	3,40	1,95
400	1,18	0,36	2,53	2,14
600	0,80	0,19	1,30	1,63
800	0,55	0,10	0,89	1,62
1000	0,37	0,06	0,47	1,27
1200	0,25	0,03	0,26	1,04

Gain de place: 1,83

Graphique:



EXEMPLE 2

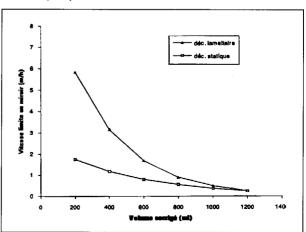
Cas d'une collectivité de 20 000 E.H. Qp = 400 m³/h

Données :

Volume	Décantation	Décantation	Décantation lamellaire	
corrigé	statique	vitesse	vitesse	vitesses
	vitesse limite	limite	limite	au
	au miroir (m/h)	stp (m/h)	miroir (m/h)	miroir
200	1,74	0,67	5,82	3,34
400	1,18	0,36	3,15	2,67
600	0,80	0,19	1,68	2,10
800	0,55	0,10	0,90	1,64
1000	0,37	0,06	0,49	1,32
1200	0,25	0,03	0,26	1,04

Gain de place : 2,44

Graphique:



EXEMPLE 3

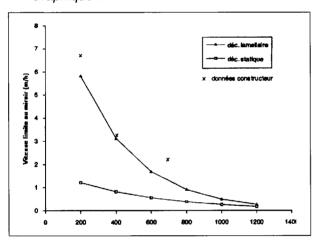
Cas d'une collectivité de 50 000 E.H. Qp = 1 000 m3/h

Données:

Volume	Décantation	Décantation lamellaire		ratio
corrigé	statique	vitesse	vitesse	vitesses
	vitesse limite	limite	limite	au
	au miroir (m/h)	stp (m/h)	miroir (m/h)	miroir
200	1,22	0,67	5,83	4,78
400	0,83	0,36	3,13	3,77
600	0,56	0,19	1,69	3,02
800	0,39	0,10	0,91	2,36
1000	0,26	0,06	0,49	1,88
1200	0,18	0,03	0,26	1,49

Gain de place : 3,48

Graphique:



- 3 Ce gain de place dépend :
 - de l'angle d'inclinaison : un angle faible augmente la surface totale projetée mais ne facilite pas le glissement de la boue,

- de la hauteur de la plaque : son augmentation entraîne des surfaces totales projetées plus importantes mais des contraintes en découlent :
 - en particulier des concentrations plus élevées à la base des lamelles pouvant provoquer des colmatages ou des chemins de circulation préférentiels,
 - d'importants travaux de terrassement qui posent parfois des problèmes de stabilité des ouvrages surtout si la fosse de répartition des boues et de reprise est de type trémie.

En dehors de la vitesse de décantation (vitesse de Hazen), liée à la surface totale projetée de l'ouvrage, les installations sont également dimensionnées en fonction des différentes zones liées au comportement de la boue dans l'ouvrage.

On distingue les zones suivantes :

h0 = 0,50 m

h1 = 0.20 m. zone d'eau clarifiée

h2 = zone de décantation. Elle correspond à la hauteur des plaques dimensionnées par la vitesse hydraulique de l'ouvrage.

h3 = cette hauteur est difficile d'approche, elle a pour objet de passer d'un régime turbulent à un régime laminaire.

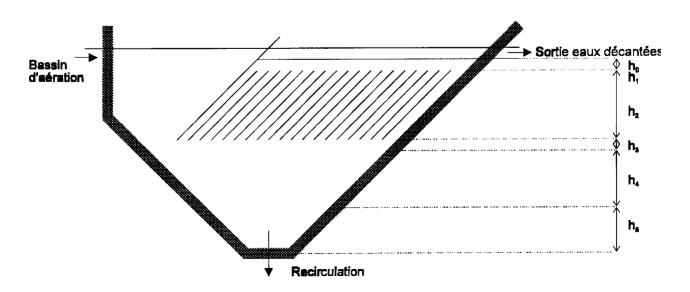
Cette répartition s'effectue aussi bien dans la zone h2 (bas des plaques). Un calcul théorique révèle une hauteur dans les plaques de 0,15 à 0,20 m pour atteindre un régime laminaire

h4 = hauteur de la zone d'épaississement. Elle est égale à :

$$h4 = \frac{C_{BA}.I_{B}}{1.000} = \frac{4 \times 150}{1.000} = 0,60 \text{ m}$$

h5 = zone de stockage : le décantateur lamellaire, ouvrage de faible volume, n'est pas prévu pour stocker un volume important de boue.

> Mais la prise en compte d'une certaine hauteur permet une garantie supplémentaire sur la fiabilité du système.



En théorie, la hauteur de stockage sur des clarificateurs cylindriques est déterminée par la formule suivante:

$$h5 = \frac{\triangle C \ V \ I_B}{1\ 000\ S}$$

S = Surface du décanteur au niveau de la fosse à

I_B = Indice de Boue V = Volume du bassin d'aération △C = II correspond pour un à-coup hydraulique à l'entraînement d'une certaine concentration en boue. On retiendra 1 g/l.

A titre indicatif, ce calcul a été effectué sur les sites testés, les résultats sont les suivants :

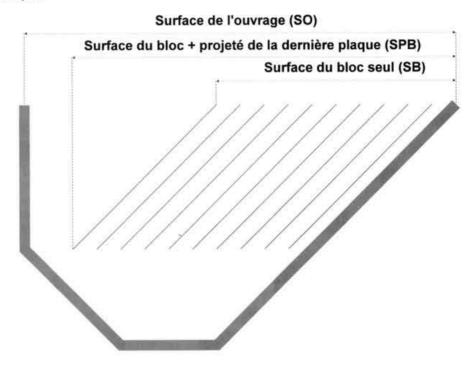
HYPOTHÈSE : $I_B = 150$ ml/g de MES.

SITES	VOLUME	SURFACE	
	DU	DU	CALCUL
	BASSIN	DÉCANTEUR	THÉORIQUE
	D'AÉRATION	m²	h5
Vallon Pont d'Arc	360	16	2,25
Volonne	480	17	2,80
Benesse Maremne	210	11	1,90
Esquièze	350	11	3,20
Azéreix	232	9	2,60
Génos	300	10	3,00

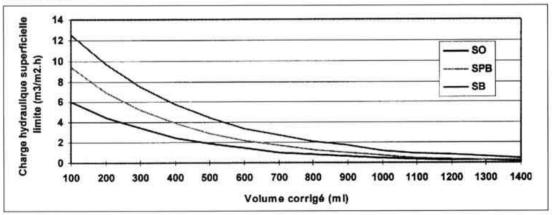
Compte tenu des hauteurs élevées, on retiendra une zone de 1,50 à 2,50 m pour permettre le stockage d'une partie des boues. Cette hauteur sera différente selon la forme de la trémie.

ANNEXE VI : DÉFINITION DE LA VITESSE HYDRAULIQUE AU MIROIR SUR LE DÉCANTEUR LAMELLAIRE

La vitesse hydraulique au miroir peut être exprimée de différentes manières suivant la surface du décanteur prise en compte.



En prenant ces trois surfaces, les calculs de la vitesse hydraulique limite au miroir sont représentés par les courbes ci-dessous.



Courbes de la charge hydraulique limite admissible sur les décanteurs lamellaires de petites collectivités, alimentés par des boues activées d'aération prolongée

LISTE des DOCUMENTS TECHNIQUES FNDAE

1 - L'exploitation des lagunages naturels	1985
2 - Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection	1986
3 - Manuel pratique pour le renforcement de l'étanchéité des réservoirs d'eau potable	1986
4 - Plan de secours pour l'alimentation en eau potable	1986
5 - Les stations d'épuration adaptées aux petites collectivités	1986
5 Bis - Stations d'épuration - dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation	1992
6 - Les bassins d'orages sur les réseaux d'assainissement	1988
7- Le génie civil des bassins de lagunage naturel	1990
8 - Guide technique sur le foisonnement des boues activées	1990
9 - Les systèmes de traitement des boues des petites collectivités	1990
10 - Elimination de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités	1990
11 - L'eau potable en zone rurale : adaptation et modernisation des filières de traitement	1992
12 - Application de l'énergie photovoltaïque à l'alimentation en eau potable des zones rurales (EPUISE)	1992
13 - Lutte contre les odeurs des stations d'épuration (EPUISE)	1993
14 - Les procédés à membranes en traitement d'eau	1995
15 - Le financement du renouvellement des réseaux d'alimentation en eau potable (EPUISE)	1993
16 - La gestion collective de l'assainissement autonome	1993
17 - Les nouvelles techniques de transport d'effluents	1994
18 - La décantation lamellaire des boues activées	1994
DOCUMENTS HORS SERIE	
HS3 - Réseaux d'assainissement urbain : guide technique pour la réalisation d'épreuves à l'eau	1992
HS4 - Elimination des nitrates des eaux potables	1992
HS6 - Consommation domestique et prix de l'eau. Evolution en France de 1975 à1990	1992
HS7 - Situation de l'Alimentation en eau potable et de l'assainissement des communes rurales en 1990 Supplément : Les départements d'Outre-Mer	1993
HS8 - L'épuration par biofiltration	1994

L'ensemble de ces documents est disponible au :

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - Bureau des Infrastructures Rurales

19, avenue du Maine

75732 Paris Cedex 15

Tél. :(1) 49-55-54-61 - Fax : (1) 49-55-54-62.

Des résumés et des informations complémentaires sont consultables sur le 3614 DERF SDDR*BIR.

N° ISBN 2.11.08.78.460

Collaboration technique à l'édition : CIFAR

Dépot légal : Août 1994

Imprimé par Watelet-Arbelot - Pantin

Cifar
centre d'information et se
formation sur l'aménagement rural