

EFFICACITE DES PRINCIPAUX PRODUITS ENVISAGEABLES POUR AMELIORER LA DECANTABILITE DE LA BOUE EN CAS DE CRISE AIGUE DE FOISSONNEMENT.

Jean-Pierre CANLER ^{*1} – Lionel JULIEN ^{*2}

*1: Cemagref de Lyon, Equipe Traitement des Eaux Résiduaire, Unité de Recherche MAEP, 3 bis quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cedex 09 Tél : 04 72 20 87 87 Fax : 04 78 47 78 75

E-mail : jean-pierre.canler@cemagref.fr

*2: Ex étudiant de l'Essigec de Chambéry.

I - CONTEXTE

En raison des normes de rejet fixées par la Loi sur l'eau, la plupart des stations d'épuration de l'hexagone passent par une voie biologique pour traiter les effluents aussi bien urbains qu'industriels. L'efficacité de ce procédé, basé sur la capacité des microorganismes (essentiellement des bactéries) à assimiler une pollution organique dissoute, est majoritairement dépendante d'une seconde étape de traitement: la séparation solide-liquide dans un clarificateur (séparation de la biomasse formée de l'effluent traité).

En France, environ 25 % des stations d'épuration rencontrent des problèmes récurrents de foissonnements filamenteux des boues, entraînant de sévères dysfonctionnements au sein des unités épuratrices. En effet, la présence de bactéries filamenteuses au sein du floc biologique pénalise fortement l'étape de clarification (volume occupé important par gramme de boue), entraînant une diminution de la vitesse de décantation ainsi qu'une plus faible compressibilité de la boue. La détérioration conjointe de ces deux paramètres accentue le risque de pertes de boues et par conséquent le non-respect des niveaux de rejet de la réglementation en vigueur pouvant atteindre rapidement les valeurs rédhitoires concernant notamment la concentration des matières en suspension de l'eau clarifiée, d'où une augmentation de la DCO et de la DBO₅.

Des solutions préventives et curatives efficaces pour remédier à ce problème existent (chloration, zone de contact, réglage des paramètres de la station) mais elles présentent l'inconvénient majeur d'avoir un temps de réponse au minimum de quelques jours. Dans certains cas, ce délai est trop important et une réponse plus rapide par l'augmentation de la vitesse de sédimentation de la boue est recherchée.

L'ajout de substances dites lestantes pour "alourdir" le floc permet une augmentation de sa vitesse de décantation (sédimentation). Cet apport apparaît être une solution efficace et présente aussi l'avantage majeur d'avoir un temps de réponse quasi immédiat. C'est pourquoi, depuis quelques années, différents produits (minéraux ou organiques) dont les propriétés demandées sont leur adsorption rapide sur le floc biologique commencent à être utilisés en tant que lestants. Néanmoins, ces ajouts de substances au sein du floc ne doivent ni modifier les fonctions épuratrices de la station (vitesse d'assimilation), ni détériorer la qualité de la boue ainsi que ses équipements. En outre, l'utilisation d'agents de lestage pour limiter les pertes de boue est à entreprendre sur de courtes périodes car elle engendre des contraintes supplémentaires en terme de temps d'exploitation et de coût. Cette courte période de traitement doit permettre d'identifier ou de mieux comprendre les

origines du problème et d'en supprimer l'effet, d'optimiser les réglages d'exploitation et de mettre en place des techniques dites curatives moins coûteuses mais d'effet à plus long terme.

Cet article précisera l'efficacité des différents produits disponibles sur le marché suite à des essais comparatifs en laboratoire. Les résultats obtenus ont permis de réaliser par la suite des essais en grandeur réelles sur station d'épuration.

II - RAPPELS DES PRINCIPALES PROPRIETES DES FLOCS BIOLOGIQUES

Le principe du traitement biologique correspond à une transformation de la pollution en biomasse. A partir du substrat apporté (eaux usées à traiter), de nouvelles bactéries se développent dont le degré de floculation sera fonction du domaine de charge de l'installation. Ce floc biologique ainsi formé permet d'augmenter la vitesse de sédimentation de la biomasse et facilite sa séparation dans l'ouvrage appelé clarificateur ou décanteur secondaire. Cette séparation du floc de l'effluent traité est fonction principalement de la résultante entre la vitesse de sédimentation du floc et la vitesse ascensionnelle dans l'ouvrage.

II.1. Floc biologique et ses types de croissance

La structure d'un floc biologique et sa formation résultent principalement d'interactions physico-chimiques (forces de répulsion de type électrostatique et des forces d'attraction de type Van der Waals) entre les microorganismes, les particules inorganiques apportées avec les effluents à traiter (action de certains cations), et les polymères exo-cellulaires formés par la biomasse. Le floc biologique est chargé négativement et sa taille est variable suivant la charge massique appliquée au réacteur (production plus ou moins importante d'exo-polymères participant à l'adhésion des bactéries entre elles et donc à la formation du floc). Sa granulométrie peut varier d'une dizaine à plus de 500 microns et il est composé de sous-unités de 10 à 50 microns appelées micro-colonies.

La croissance biologique recherchée pour les procédés boues activées est de type floculé (floc biologique composé principalement de bactéries floculées). A certaines périodes de l'année, le type de croissance dit filamenteux, habituellement toujours présent mais en faible proportion peut devenir majoritaire et entraîner un dysfonctionnement biologique (Cf. Document technique FNDAE N°33). Ce type de croissance intervient principalement sur deux paramètres : la vitesse de sédimentation qui est diminuée et le volume occupé par gramme de boue qui est augmenté (notion d'Indice de boue), ce qui pénalise rapidement l'ouvrage de décantation.

II.2. Rappels : vitesse de sédimentation et vitesse ascensionnelle limite

De nombreux auteurs ont mis en équation la vitesse de sédimentation d'un floc biologique. Les principaux paramètres retenus sont : la concentration de la boue et son aptitude à décanter (selon les auteurs, on utilise l'Indice de Mohlman, l'indice de boue,...) mesurée après un temps donné de 30 minutes en éprouvette. Ce test intègre bien la vitesse de sédimentation car il mesure le volume occupé par gramme de boue après 30 minutes de décantation.

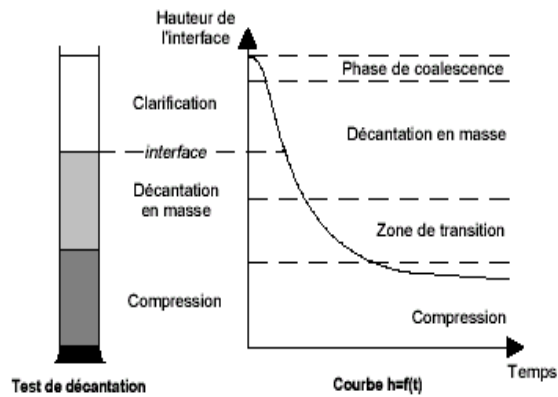
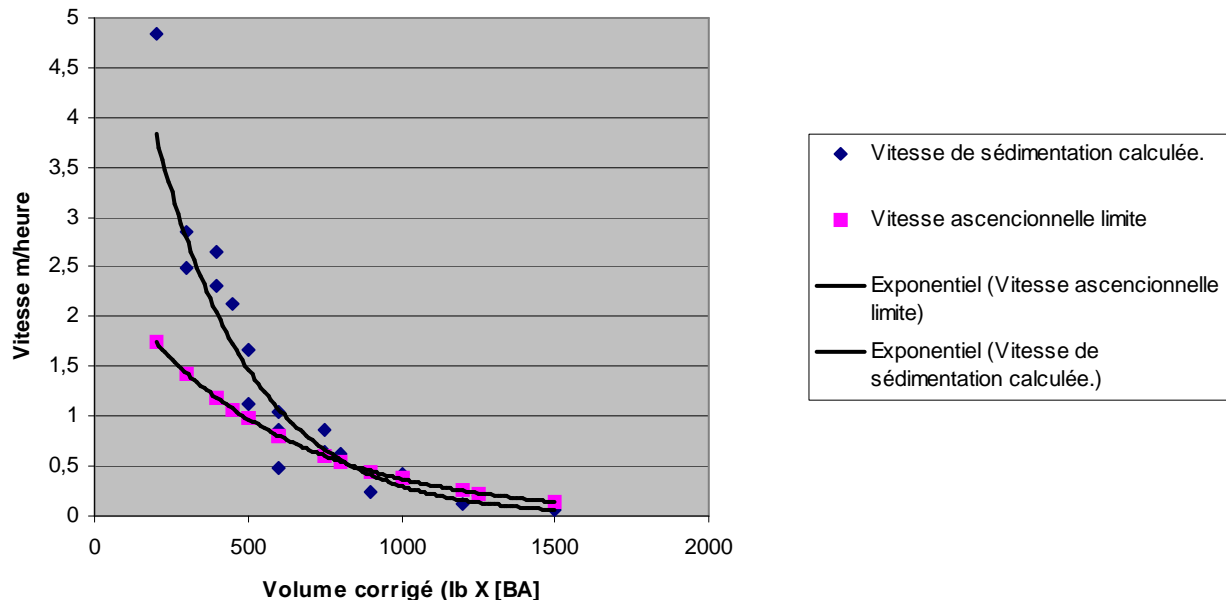


Figure 1. Evolution de la hauteur de l'interface eau / boue en fonction du temps de décantation

La vitesse ascensionnelle limite d'un clarificateur a été obtenue à partir de mesures sur sites et une relation décroissante de cette vitesse a été établie en fonction de deux paramètres : les MES et l'Indice de boue dont le produit est appelé volume corrigé (VC, en ml par litre). L'équation de cette vitesse ascensionnelle limite en fonction du volume corrigé est la suivante :

$$\text{Vasc. limite en m}^3/\text{m}^2 \text{ d'ouvrage utile et par heure} = 2,56 e^{(-0.00193 \times \text{Vc})}$$

D'une façon simplifiée, la perte de boue est observée lorsque la vitesse ascensionnelle est supérieure à la vitesse de sédimentation. Sur la graphique 1 suivant, la courbe de référence de la vitesse ascensionnelle a été superposée à celle de la vitesse de sédimentation calculée à partir de la formule de Pitmann.



Graphique 1. Relation entre la vitesse de sédimentation calculée et la vitesse ascensionnelle limite en fonction du volume corrigé.

On observe, pour des volumes corrigés supérieurs à 500 ml/l, une bonne adéquation entre les deux vitesses. Les valeurs inférieures correspondent à la gamme où les volumes corrigés sont rarement observés pour des installations confrontées à des dysfonctionnements biologiques, à la gamme des faibles charges ou aération prolongée, domaine de charge le plus fréquent en raison des niveaux de rejet demandés.

III - MATERIELS ET METHODES

III.1 Matériels

Pour améliorer la vitesse de sédimentation d'un floc biologique, l'ajout de produits est envisageable et on note une quantité importante de produits disponibles sur le marché permettant d'améliorer la décantabilité des boues. Ces produits sont classés en 3 catégories : les produits minéraux (dits lestants), les coagulants et les floculants.

Les lestants

Ce sont des produits naturels solides, caractérisés par des masses volumiques supérieures à 1 kg/litre d'où un alourdissement du floc lors de leur utilisation. Ils doivent avoir des propriétés de surface de type hydrophobe pour faciliter leur adhésion aux floes biologiques et éviter ainsi leur accumulation dans l'eau interstitielle ce qui pourrait pénaliser le rejet en terme de MES (particules fines) et de turbidité (coloration de l'effluent). De plus, ils ne doivent pas pénaliser l'activité biologique de l'installation ainsi que les équipements par des phénomènes d'abrasion et/ou de dépôts.

La chaux n'a pas été retenue dans le cadre de cette étude car le lestage du floc nécessite des doses importantes qui entraîneront une forte élévation du pH du milieu, préjudiciable à l'activité biologique.

Les coagulants

Ce sont des produits le plus souvent liquides qui neutralisent les charges électriques des fractions colloïdales et améliorent la coalescence (agglomération) des particules entre elles et donc la vitesse de sédimentation.

Les floculants

Ils ne sont pas testés car ils possèdent le plus souvent un très haut poids moléculaire avec une forte porosité. Les floes obtenus avec ces produits sont énormes et peu denses, et ne permettent pas toujours d'obtenir un gain sur les vitesses de sédimentation.

Tableau I. Synthèse des différents produits retenus pour l'étude

Type de produit	Composition	Nom Commercial	
Lestants	Apatite	Phosphate basique de calcium	
	Bauxite	Oxyde d'aluminium hydraté (de 40 à 60 %), silice et oxyde de fer.	
	Bentonite	Composition très variable, constitué principalement de feuillets de silice et d'oxyde de fer.	Imperzol
	Carbonate de calcium		Mikhart SPL Lestofloc
	Charbon actif (CAP)	Issu des matières carbonées d'origine végétale après traitement thermique.	MV 118 C
	Talc	Silicate de magnésium	Aquatal T
	Cendres	Composition très variable fonction de la matière première incinérée : charbon, boues de stations d'épuration.	Spilest : combustion de charbon pulvérisé Cendres de boues (CPB)
	Supports micro poreux associés à des oligo-éléments.	Non précisé par le vendeur	Biolen PE 1547
Coagulants	minéraux	Chlorure d'aluminium, Sulfate d'alumine, Chlorure ferrique.	Gamaflow CCL 300 Kemwater PAX 18
	organiques	Polymères aux caractéristiques très variables en poids moléculaire, en densité de charges élevée et en ionicité	Gamaflow CCL 610 Flobeads DB 45 VMH Flobeads DB 45 SSH Floquat FL 2949 Floquat FL 4540
	Mixte (minéral et organique)		Gamaflow CCL

Cette liste n'est pas exhaustive et certains exploitants ont utilisé d'autres produits avec des résultats positifs sur la décantabilité en intervenant sur le pouvoir lestant du matériau.

Lestants	Kaolinite	Silicates d'Aluminium	Résidus de l'exploitation du kaolin.
----------	-----------	-----------------------	--------------------------------------

Ce produit a les caractéristiques suivantes non vérifiées à l'occasion de cette étude :

Taille effective se situe entre 50 et 70 μm avec un coefficient d'uniformité < 2 .

Ce produit n'a pas été retenu lors de cette étude car il a été identifié après nos essais.

III.2 Méthodes

Les expérimentations ont été menées sur 2 types de boues issues d'installations traitant majoritairement des effluents domestiques et fonctionnant dans le domaine de l'aération prolongée. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau II.

Tableau II. Caractéristiques des différentes boues étudiées

Paramètres	Bonne aptitude à la décantation.	Mauvaise aptitude à la décantation.
MES	4,00 g/l	2,78 g/l
% de MVS	69 % soit 2,76 g de MVS/l	73 % soit 2,03 g de MVS/l
Indice de boue	120 ml / g de MES	310 ml / g de MES
Vitesse de sédimentation	2,52 m/h	0,3 m/h

Ces deux boues se différencient par leur indice de boue avec :

- une installation présentant une bonne aptitude à la décantation (bon indice de boue) qui s'explique, en dehors des bons paramètres de fonctionnement de la station et de la qualité des eaux à traiter, par l'adjonction de chlorure ferrique pour respecter les niveaux de rejet demandés sur le phosphore.

- La seconde installation présentant une mauvaise aptitude de la boue à la décantation (IB de 310 ml/g).

D'un point de vue méthodologique, différents paramètres ou tests ont été retenus pour étudier l'efficacité des produits :

✓ Effet sur l'indice de boue :

L'indice de boue évalue l'aptitude de la boue à décanter et correspond à la mesure du volume décanté de la boue dans une éprouvette d'un litre après 30 minutes de sédimentation. Ce test est interprétable uniquement si le volume décanté au moment de la lecture est inférieur à 300 ml, sinon la mesure devra être renouvelée avec une dilution de la boue par de l'eau de sortie. Le volume décanté est ramené au gramme de MES dans l'éprouvette, on parlera :

- d'IB initial - le calcul est effectué à partir des MES des boues sans prise en compte des ajouts.
- d'IB mesuré - avec prise en compte des ajouts (MES des boues + MES du lestant).

✓ Effet sur la vitesse de sédimentation :

A partir de mesures sur des colonnes de 2 m de haut et 0,19 m de diamètre emplies de boues, la vitesse de sédimentation maximale est obtenue à partir de la représentation graphique de l'évolution de la hauteur de l'interface boue-surnageant (appelée voile de boue) en fonction du temps. La pente la plus importante correspond à la vitesse de sédimentation maximale.

Le volume décanté final obtenu permet aussi d'aborder le facteur d'épaississement de la boue (limite de compressibilité de la boue à 30 minutes), correspondant au ratio de la concentration de la boue épaissie sur la concentration initiale de la boue.

✓ Influence sur la qualité de l'eau surnageante (eau clarifiée) et sur les boues.

Lors de l'ajout des produits, leur adsorption avec le floc n'est peut être pas totale et peut augmenter la turbidité de l'effluent de sortie et donc les MES du rejet. Des essais en jar-tests avec des proportions différentes de produits appliqués sur la boue ont permis d'approcher cette capacité d'adsorption. Une agitation rapide pendant 6 minutes à 250 tours / minute suivie d'une agitation lente (40 tours / minute) durant 10 autres minutes a permis d'apprécier la qualité du surnageant par

la mesure de la turbidité après une phase de repos, associée à un bilan MES avec la mesure du pourcentage de répartition dans le floc et dans le liquide interstitiel.

✓ **Influence des produits sur l'installation en terme d'abrasion et de dépôts.**

Ce point est difficilement quantifiable lors de cette phase expérimentale et ne pourra se faire qu'à partir des retours d'expérience qui, à ce jour, sont insuffisants pour certains lestants.

IV - RESULTATS

Nous présenterons dans cette partie uniquement les principaux résultats obtenus lors des expérimentations menées en laboratoire.

IV.1. Sur les lestants

• **Tests préalables: Granulométrie et capacité à adhérer aux floes.**

La mesure granulométrique de chaque lestant a été effectuée et leur courbe granulométrique a permis d'obtenir des informations sur 2 paramètres clés :

- le coefficient d'uniformité (CU) : il représente l'homogénéité du produit en terme de taille, et correspond au rapport des tailles correspondant à 60% et 10% de la courbe granulométrique. On considère que le milieu est uniforme au sens granulométrique pour des valeurs de CU < à 2.
- Et la taille moyenne qui correspond au pourcentage 50 de la courbe granulométrique.

Tableau III. Caractéristiques granulométriques des lestants retenus

	Granulométrie et Coefficient d'Uniformité (CU)		
	Fine (dp ₅₀ < 7 µm)	Moyenne (7 µm < dp ₅₀ < 20 µm)	Grossière (dp ₅₀ > 30 µm)
Produits	Apatite (CU=8) Bauxite (CU= 13) Bentonite (CU= 4)	Aquatal®(CU=4) CPB (CU= 12) Spilest®(CU=9) Lestofloc(CU=10) Mikhart®(CU=16)	Biolen (CU=10)

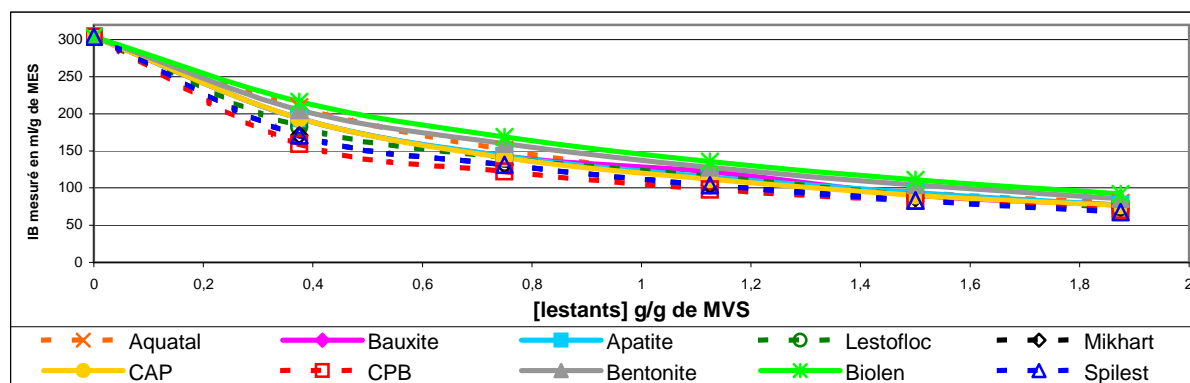
L'affinité à être adsorbé dans le floc sera approchée par mesure du lestant dans l'eau interstitielle ou au fond du bêcheur. Les résultats ont montré une forte affinité des produits avec le floc biologique à l'exception de 2 substances : le Biolen dont une fraction importante (de l'ordre de 24 %) se retrouve non adsorbée et en fond de bêcheur et la bentonite avec une fraction élevée dans le surnageant. Ces résultats sont en étroite relation avec leur granulométrie, avec des risques de dépôts pour les éléments grossiers et des risques de turbidité pour les particules classées fines.

• **Influence des produits sur la boue filamenteuse**

Sur l'Indice de boue mesuré :

De nombreux essais ont été effectués pour chaque produit en appliquant différentes doses, allant de 0,4 g de produits par g de MVS de la boue à 1,8. A titre d'exemple, nous représentons ici les résultats obtenus pour la boue filamenteuse mais ceux-ci sont similaires pour la boue saine. La représentation graphique du résultat de l'indice de boue pour différentes doses est la suivante :

Boue filamenteuse :



Graphique 2 : Relation entre l'Indice de boue mesuré et différentes lestants et doses appliquées

Au niveau efficacité, le meilleur compromis se situe à des doses de l'ordre de 0,7 g de produit /g de MVS.

Les gains en pourcentage par rapport au témoin (sans lestant) sur l'Indice de boue et sur la vitesse ascensionnelle abordée par le volume corrigé sont les suivants :

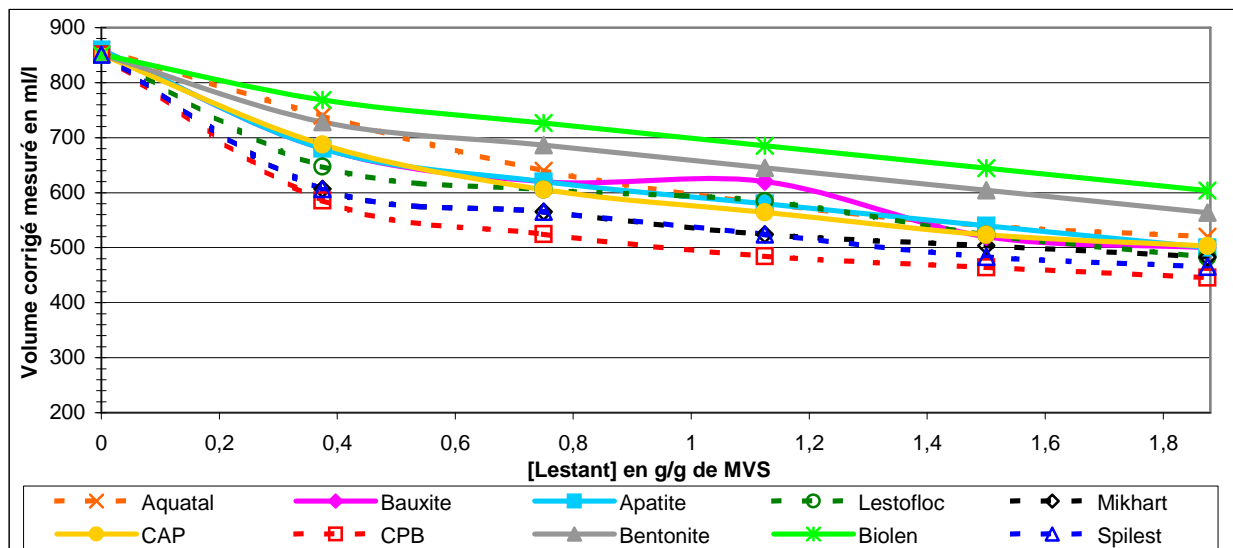
Tableau IV. Pourcentage de gain sur l'Indice de boue et sur la vitesse ascensionnelle pour les 2 boues et pour une même dose appliquée.

Dose de lestant : 0,74 g de produit / g de MVS				
Produits testés	Boue normale		Boue filamenteuse	
	Gain sur l'IB en % (Classement)	Gain sur la vitesse ascensionnelle en %	Gain sur l'IB en % (Classement)	Gain sur la vitesse ascensionnelle en % (Classement)
Apatite	39 (6)	12	53 (4)	57
Aquatal[®]	46 (4)	19	52 (5)	51
Bauxite	49 (1er)	23	53 (4)	57
Bentonite	37 (7)	7	47 (6)	38
Biolen	39 (6)	12	44 (7)	28
CAP	42 (5)	14	54 (3)	62 (3)
CPB	47 (3)	21	60 (1)	89 (1)
Lestofloc	46 (4)	19	54 (3)	62
Mikhart[®]	48 (2)	21	57 (2)	75 (2)
Spilest[®]	47 (3)	21	57 (2)	75 (2)

Les résultats obtenus sur les vitesses de sédimentation ne sont pas présentés car le gain obtenu sur ce paramètre est proche de celui obtenu sur l'indice de boue, ce qui précise que l'effet d'échelle (éprouvette et colonne) n'a pas modifié de façon significative les résultats.

Sur le volume corrigé :

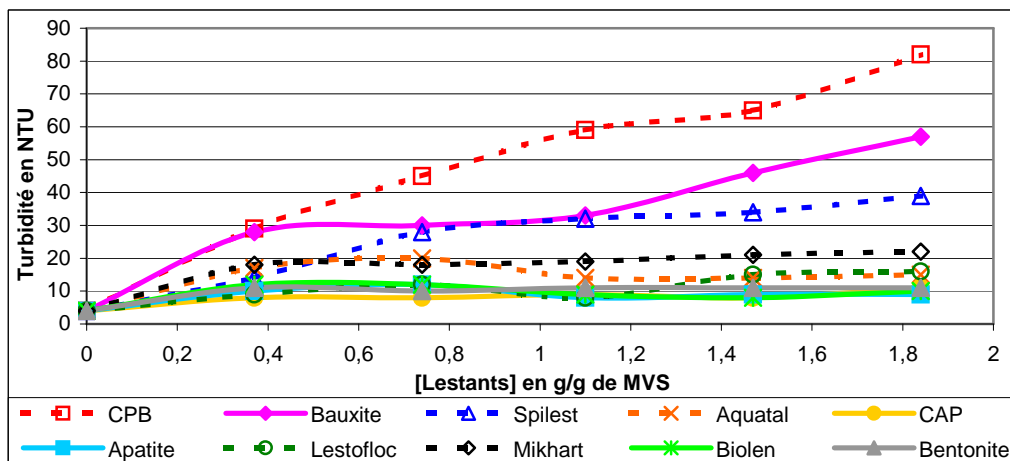
Les résultats du graphique ci dessous montrent un effet positif sur le volume corrigé mais avec un comportement différent selon les produits et un degré d'efficacité plus élevé pour les essais sur la boue filamenteuse (gain de 28% à 89 %).



Graphique 3. Relation du volume corrigé en fonction des différents lestants étudiés et pour différentes doses appliquées

Les trois produits les plus efficaces sont les cendres, le Spilest® et le Mikkart® en raison de leurs caractéristiques physiques (masse volumique élevée).

La qualité du surnageant a été suivie et a révélé les résultats suivants :



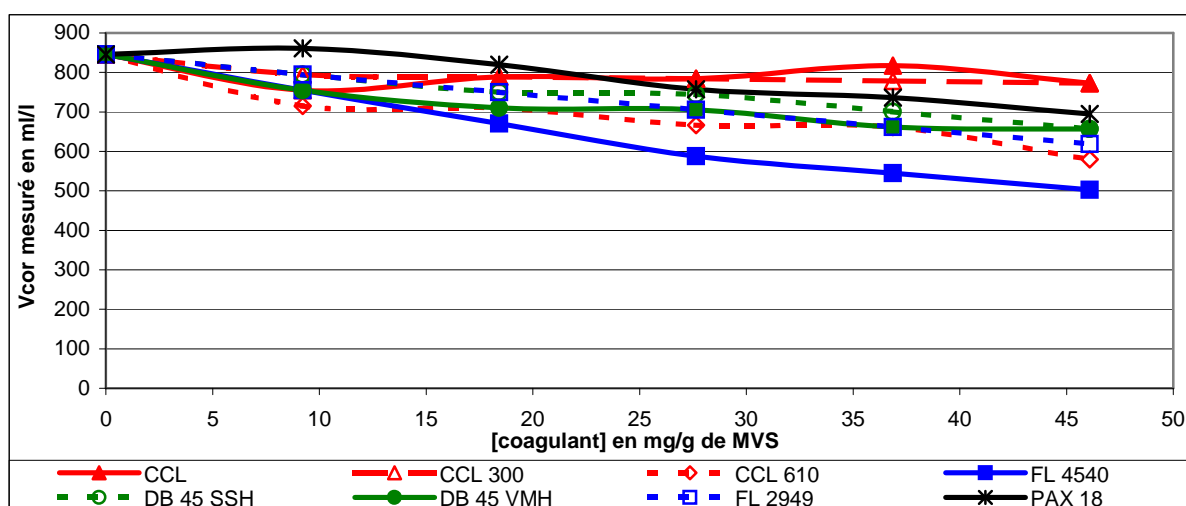
Graphique 4. Relation de la turbidité en fonction des différents lestants étudiés et pour différentes doses appliquées

Cette représentation montre que certains produits entraînent une dégradation de la qualité du surnageant, en particulier les éléments fins (bauxite) et les cendres (CPB) liées à une fraction importante d'éléments fins (CU = 12).

IV. 2. Sur les coagulants

Influence des coagulants seuls sur la boue filamenteuse

Les résultats ont montré que tous les coagulants testés avaient un impact positif sur la décantabilité de la boue et donc sur les vitesses de sédimentation. L'amélioration de cet impact en fonction des doses appliquées donne l'information suivante, illustrée par le graphique 5.



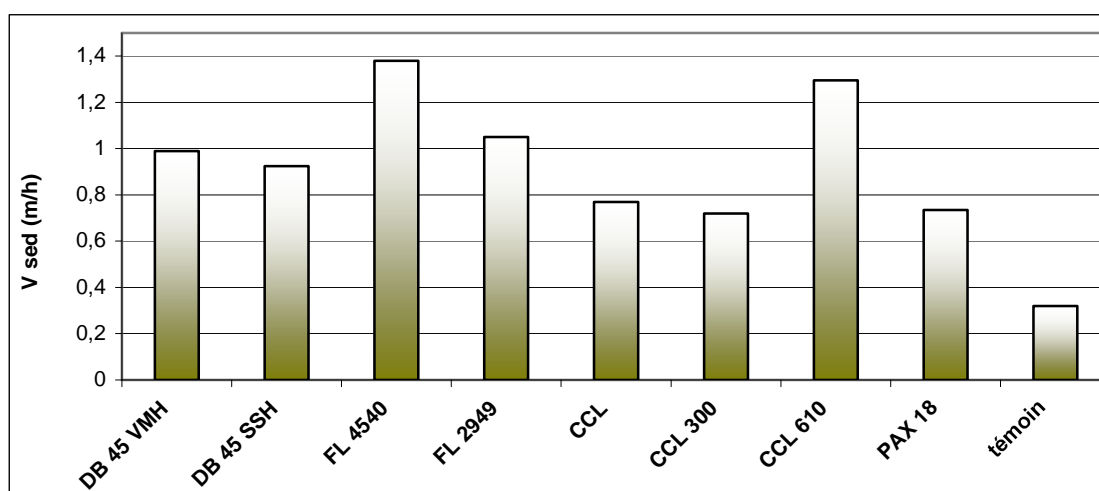
Graphique 5. Relation du Volume corrigé en fonction des différents coagulants étudiés et pour différentes doses appliquées

Pour certains produits, les meilleurs résultats ont été obtenus avec des doses appliquées relativement élevées, avec un taux de traitement de l'ordre de 40 mg de coagulant / g de MVS (soit une dose de 110 mg de coagulant/ litre de boue). Pour deux produits (CCL 300 et CCL) aux résultats faibles, on observe aucun gain supplémentaire au delà d'un taux de traitement de 8 mg de produit /g de MVS. La synthèse des résultats obtenus pour un taux de traitement de 46 mg de produit/g de MVS est la suivante:

Tableau V. Pourcentage de gain sur la vitesse ascensionnelle pour une boue donnée et une même dose appliquée.

Dose de coagulant : 40 mg/g de MVS (valeur élevée)				
	Produits	V _{cor} mesuré en ml/l	V _{asc. lim.} en m/h	Gain en %
Produits efficaces	FL 4540	502	0,97	94
	CCL 610	580	0,84	67
	FL 2949	618	0,78	55
	DB 45 SSH	657	0,72	44
	DB 45 VMH	657	0,72	44
Produits peu efficaces	PAX 18	695	0,67	34
	CCL	773	0,58	15
	CCL 300	773	0,58	15
	Boue témoin	846	0,50	-

Nous avons voulu vérifier le gain en terme de vitesse de sédimentation et pour des doses moindres de l'ordre de 18 mg de coagulant / g de MVS (soit une dose de 50 mg /litre de boue), les résultats obtenus confirment ceux obtenus précédemment:



Graphique 6. Vitesse de sédimentation de la boue pour un ajout de 18 mg/g de MVS et pour différents coagulants testés.

IV.3. Sur la combinaison des 2 produits : Lestants et coagulant

Au vu des résultats précédents, on note des substances plus efficaces que d'autres, et on retiendra les produits suivants :

Les lestants retenus sont :

- Le Mikhart[®]
- Le Spilest[®]
- Les cendres de Boues (CPB)

Les coagulants retenus sont :

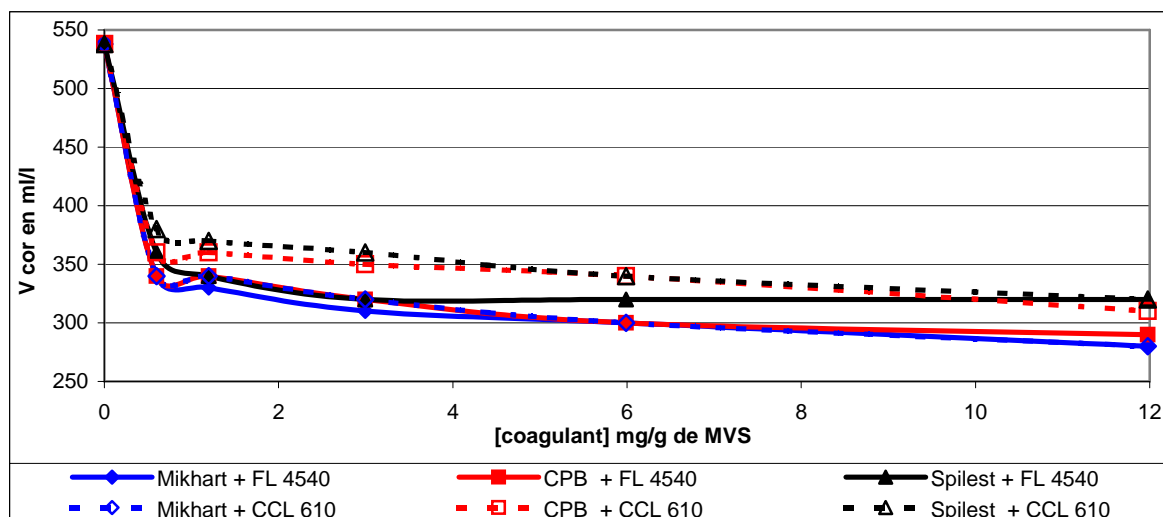
- Le FLOQUAT[™] FL 4540
- Le CCL 610

L'utilisation conjuguée d'un lestant et d'un coagulant se fera donc selon le protocole suivant :

- Ajout de lestant à une dose de 1 g/g de MVS (amélioration de l'IB_{mesuré} d'environ 60 %).
- Ajout de coagulants à diverses concentrations.

Influence des produits lestants associés aux coagulants sur la boue filamenteuse

De nombreux essais pour différentes concentrations ont été menés afin d'étudier l'impact de chaque produit sur l'indice de boue, sur le volume corrigé, sur la vitesse de sédimentation, sur le facteur d'épaississement et ses conséquences sur la turbidité et le pH des effluents de sortie. Nous vous présentons uniquement l'évolution du volume corrigé en fonction de la dose de coagulant appliqué avec un apport constant de lestant fixé à 1 g de lestants / g de MVS.



Graphique 7. Evolution des volumes corrigés lors d'ajouts croissants en coagulant et constants en lestant (1 g/g de MVS).

Suite aux différents essais et compte tenu du coût des produits testés, l'utilisation d'un agent de lestage associé à un coagulant apparaît être la solution la plus efficace pour favoriser la décantation d'une boue filamenteuse. Les actions des différents lestants et coagulants testés sont proches, mais le Mikhart® et le FL 4540 apportent les meilleurs résultats sur cette boue filamenteuse. Néanmoins, l'action cumulée des deux agents pose un problème au niveau de la compressibilité de la boue puisque l'ajout de lestant à 1g/g de MVS cumulé à l'ajout de coagulant à faible dose (doses inférieures à 10 mg/g de MVS) fait diminuer le facteur d'épaississement de la boue jusqu'à 30 %. Par contre, l'ajout de coagulant diminue la turbidité de sortie observée avec les cendres de boue.

V - DISCUSSION ET SYNTHÈSE

Sur l'ensemble des essais menés, les produits dits lestants se sont avérés intéressants à l'exception de la chaux qui modifie fortement le pH du milieu et aura des conséquences importantes sur l'activité biologique en raison des doses appliquées.

Dans le choix définitif des produits à utiliser, il conviendra d'étudier les différents gisements disponibles à proximité de la station à traiter car le coût du transport a une incidence financière non négligeable sur le coût du traitement. Dans tous les cas, nous avons observé que la granulométrie des produits testés était un paramètre majeur car les extrêmes avaient des conséquences importantes sur la filière de traitement. Les produits de faible granulométrie risquent d'entraîner une turbidité élevée en sortie, révélateur d'un taux de capture dans le floc insuffisant. Pour des granulométries plus grossières, on note un risque élevé de retrouver le produit en fond d'ouvrage, d'où une inefficacité du produit dans le lestage du floc, avec à terme un risque de dépôts préjudiciable au traitement en raison du risque de colmatage des rampes d'air process dans le cas d'insufflation et des zones d'anaérobie.

On retiendra principalement comme produits : les carbonates de calcium (noms commerciaux : Lestofloc et Mikhart® SPL), le talc (Aquatall®) et les cendres. Les autres produits recensés ne sont pas retenus en raison d'un gisement trop éloigné (à l'étranger pour l'apatite), d'une granulométrie non adaptée (cas de la bauxite), d'un coût d'achat trop élevé (cas du charbon actif) ou de préparation plus complexe (cas de la bentonite qui nécessite un mouillage préalable).

Dans le cas de l'utilisation de cendres issues des centres d'incinération ou celles issues de centrale thermique à charbon (cendres volantes de silico-alumineuse de charbon pulvérisé), il conviendra de vérifier la teneur en éléments traces métalliques pour ne pas pénaliser la filière boue dans le cas où

leur valorisation agricole est retenue. Pour information, les résultats obtenus sur les cendres testées sont les suivants :

Tableau VI. Analyses des éléments traces dans le Spilest® et dans la cendre d'un centre d'incinération des boues et valeurs limites autorisées des éléments-traces d'après l'arrêté du 08/01/98.

<i>Eléments</i>	<i>Spilest®</i>	<i>Cendres</i>	<i>Teneur limite dans la boue</i>
	<i>Cendres de centrale thermique</i>	<i>d'incinération des boues de station d'épuration (CPB)</i>	
<i>En g/t de MS</i>			
Cadmium	< 25	13	10
Chrome	55	77	1 000
Cuivre	< 25	921	1 000
Mercure	< 0,5	N.C.	10
Nickel	56	44	200
Plomb	<5	521	800
Zinc	60	1714	3 000
Sélénium	8	N.C.	-

Dans notre exemple, le cadmium est l'élément problématique. Pour l'utilisation de ces cendres, il conviendra d'appliquer des doses de traitement plus faibles pour respecter les valeurs limites et ne pas pénaliser la filière de traitement des boues déjà en place.

Pour les coagulants, il serait trop rapide d'arrêter le choix définitif d'un coagulant car leur efficacité est fortement dépendante de la qualité de la boue et de l'effluent à traiter. Le choix du coagulant doit répondre principalement à 3 critères : sa très forte cationicité, son poids moléculaire élevé et son prix. Compte tenu de ces remarques, il est préférable de mener quelques tests préalables (Jar tests) afin de garantir l'efficacité du produit sélectionné.

La combinaison des 2 produits est la solution la plus adaptée en raison de son degré d'efficacité. En effet, l'ajout de substances minérales dans le floc permet un alourdissement physique des boues, tandis que les coagulants permettent d'éliminer la turbidité créée par l'ajout du lestant, tout en améliorant la structure du floc. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les cendres ou le carbonate de calcium associés à un coagulant organique à poids moléculaire moyen.

Suite aux différents essais effectués sur des boues filamenteuses, les doses de lestant préconisées sont aux alentours de 1g/g de MVS pour obtenir un gain sur l'indice de boue mesuré d'environ 60 %, ce qui devrait permettre de doubler la vitesse ascensionnelle limite au sein d'un décanteur à flux vertical. Les doses de coagulants doivent être de l'ordre de 3 à 10 mg/g de MVS pour permettre d'optimiser la qualité de l'eau surnageante (turbidité) et d'améliorer les vitesses de sédimentation grâce à son action sur la structure du floc.

Ces doses sont préconisées lorsque l'on est confronté à un important bulking filamenteux. Elles peuvent être revues à la baisse si l'indice de boue mesuré est plus faible (dose de lestant à hauteur de 0,7 à 0,8 g/g de MVS pour une même dose de coagulant). De plus, la plupart des paramètres ayant été suivis en Jar-Test d'un litre, on peut penser que l'effet de masse produit lors de son utilisation à grande échelle permettra de diminuer les doses injectées.

Une approche économique complémentaire a été menée afin d'estimer le coût d'un traitement combiné pour une station de 5000 EH disposant d'un volume de bassin d'aération de 1000 m³ avec une concentration en MES de 4 g/l (et un taux de MVS de 75 %). L'analyse succincte révèle un coût de traitement pour la semaine de 720 euros dont la part du coagulant représente 58 % du traitement en raison d'un apport continu (sur 7 jours) et 41 % pour le lestant en raison de son apport ponctuel.

Tableau VII. Comparatif économique de l'emploi d'un lestant associé à un coagulant.

	Prix au Kg (en €)	Gain IB ^{mesuré} en %	Dose	Dose
Coagulant : FL 4540	2	60	10 mg/g MVS	30 g/m ³ de boue
Lestant : Mikhart [®]	0,1		1 g/g MVS	3 kg/m ³ de boue
	Dose injectée par jour		Coût sur une semaine	
Coagulant : FL 4540	30 kg		420 euros	
Lestant : Mikhart [®]	3000 kg (1 seule fois)		300 euros	

Il apparaît que l'utilisation des lestants est plus intéressante économiquement que l'utilisation des coagulants sur du long terme. De plus, les coagulants ne pourront pas améliorer l'indice de boue mesuré de plus de 40 % alors que les lestants peuvent faire chuter cet indice de 60% voir plus pour des doses de 0,74 g/g de MVS. Il conviendra donc de privilégier en premier lieu l'utilisation de lestants.

VI - CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif d'étudier l'impact d'un certain nombre de produits disponibles sur le marché pour stopper rapidement une perte de boue liée au développement de bactéries filamenteuses. Les solutions disponibles pour revenir à une croissance normale dite floculée nécessite d'intervenir sur les paramètres de fonctionnement de l'installation et sur la typologie des effluents. Mais les temps de réponse de ses solutions sont trop élevés et non acceptables pour le milieu récepteur et l'application de la loi sur l'eau (fiabilité du traitement et respect des valeurs réductrices).

L'ajout de produits lestants doit être envisagé pour des pas de temps relativement courts (au maximum 1 à 2 semaines), temps nécessaire à la mise en place d'autres techniques et à la remise à niveau des paramètres de fonctionnement (taux de boue, aération,).

Cette étude a montré que le lestage d'une boue filamenteuse est très efficace avec l'utilisation conjuguée d'un lestant minéral et d'un coagulant. En effet, cet apport combiné permet de faire diminuer l'IB mesuré ainsi que le volume corrigé, ce qui influence directement la vitesse ascensionnelle limite admissible dans un décanteur à flux vertical et permet de maintenir le débit de traitement tout en respectant la qualité des eaux rejetées.

Même si la qualité de la boue et la composition physico-chimique de l'eau peut influencer fortement les résultats et les choix de la combinaison lestant/coagulant, les cendres, le carbonate de calcium et les coagulants organiques (ayant un poids moléculaire moyen et une très forte

cationicité) se dégagent comme étant les produits les plus adéquats pour favoriser la décantation d'une boue filamenteuse.

Les principaux avantages du lestage de boue par un apport combiné de minéraux et de coagulants sont :

- ✓ Une réponse immédiate (de quelques heures).
- ✓ Une augmentation de la concentration des boues recirculées, d'où un gain en terme de siccité des boues déshydratées. De plus, l'augmentation de cette concentration de la boue recirculée facilite le traitement dans le cas d'une chloration

Mais quelques inconvénients subsistent :

- ✓ Nécessité d'avoir un silo de stockage pour le lestant, surtout pour des installations de type industriel où le problème est récurrent et apparaît de façon saisonnière.
- ✓ Nécessité de puissances spécifiques de brassage suffisantes pour éviter des dépôts dans les ouvrages
- ✓ Le lestage des boues est une action physique qui modifie les caractéristiques physiques de la boue mais ne résout pas le problème biologique (présence excessive de bactéries filamenteuses).

C'EST UNE ACTION CURATIVE A COURT TERME.

Bibliographie :

J.P. CANLER, J.M. PERRET. *La clarification : approche dimensionnelle basée sur le couple aération-clarification : fondements et évolutions*. 83ème Congrès ASTEE, Aix les bains, 24 au 28 mai 2004.

GIS Biostep – coordination J.P. Canler. *Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions*. Document technique FNDAE n° 33, 2005

[HTTPS:// GISBIOSTEP.CEMAGREF.FR/](https://gisbiostep.cemagref.fr/) : Site Web dédié à la gestion des aspects biologiques des stations d'épuration.

JULIEN L. *Inventaire et efficacité des produits susceptibles d'améliorer la décantation de boues filamenteuses issues de boues activées*. Rapport de stage de fin d'étude, ESIGEC, Chambéry, août 2004.

CTGREF, Groupement d'Antony (1979). Etude n°43: *Etude expérimentale des décanteurs secondaires des stations d'épuration situées en zone rurale*.

Duchène P., Cotteux E. (1998). *La problématique des dysfonctionnements biologiques: bulking et moussage biologique en boues activées*, La tribune de l'eau, 595/5

CEMAGREF - QEPP Lyon (1982). *Les techniques actuelles de lutte contre le foisonnement des boues activées*.

Pronost R., Gueraud S. (2001). *Maîtrise des dysfonctionnements en station d'épuration : lestage des boues activées par des cendres de charbon*. Environnement & Technique, 207.