



Installation et suivi d'une unité pilote de traitement physique d'effluents urbains excédentaires à la station de pompage d'Horbourg-Wihr

Coralie Tarrene

► To cite this version:

Coralie Tarrene. Installation et suivi d'une unité pilote de traitement physique d'effluents urbains excédentaires à la station de pompage d'Horbourg-Wihr. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02477508

HAL Id: dumas-02477508

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02477508>

Submitted on 13 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTALLATION ET SUIVI D'UNE UNITÉ PILOTE DE TRAITEMENT PHYSIQUE D'EFFLUENTS URBAINS EXCEDENTAIRES A LA STATION DE POMPAGE D'HORBOURG-WIHR.

Mémoire rédigé par Coralie TARRENE

En vue de l'obtention du Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement
Soutenance le 20 novembre 2019



Tuteur entreprise
M. Thierry BAUER
Directeur de BEREST Rhin-Rhône

Tuteur école
M. Julien LAURENT
Maître de conférences à l'ENGEES

Membres du jury
M. Julien LAURENT
M. Thibaut MENSION
Mme Anne WILHELM

BEREST RHIN - RHONE
71, rue du Prunier
BP 21227
68012 COLMAR



REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent à M. ASELMEYER, Président Directeur Général de BEREST, pour m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de sa société.

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Thierry BAUER, Directeur de BEREST Rhin-Rhône et mon référent lors de ce stage, pour sa proposition d'un sujet d'études innovant et de la confiance qu'il m'a accordé pour mener à bien ces essais. Je tiens également à le remercier pour son professionnalisme, son implication dans cette phase d'apprentissage et pour m'avoir aiguillée avec pédagogie au cours de ces 6 mois.

Je porte également, une attention particulière à M. Antoine SADOWSKI pour m'avoir encadrée dans le suivi scientifique de cette installation pilote et apporter des conseils avisés tout au long de ces essais.

Mes remerciements vont également à l'équipe du Pôle eau et environnement de l'agence de Colmar, Sébastien, Dominique, Frédéric, Thomas, Alexandre, Armand, Mathieu, Jean-Luca et Franck pour leur sympathie et leur accueil, ainsi qu'à l'ensemble des salariés de l'agence de Colmar. Et un remerciement particulier à Firmin qui a pris en charge les essais durant ma petite période de convalescence.

J'ai également une pensée pour l'ensemble des personnes qui ont participé à la réalisation de cette installation pilote et à son bon déroulement. C'est pourquoi, j'adresse un grand merci aux agents de la Colmarienne des Eaux, M. Jean-Christophe GROSHENY, M. Paul AUBIGNY et M. Miguel OBERST, qui ont effectué toute l'installation du pilote, ce qui n'a pas été une mince affaire selon les jours, et pour avoir répondu présents à chacun de mes soucis techniques.

RESUME

Le système d'assainissement de la commune d'Horbourg-Wihr se compose d'un réseau de collecte de type unitaire et d'une station de pompage dirigeant les effluents vers la station d'épuration de Colmar. En 2012, des campagnes de mesures ont révélé des taux de dilution de plus de 2000% en période de nappe haute. Cet excès d'eau à la station de pompage engendre des rejets vers le milieu naturel par temps sec.

L'ampleur des travaux pour arriver à un résultat satisfaisant à court terme pour éliminer les eaux claires parasites et la demande insistante de la Police de l'eau ont conduit à une solution transitoire portant sur le traitement des effluents excédentaires par temps sec.

La filière proposée, compte tenu du caractère intermittent du délestage hydraulique, est de type physique (filtration mécanique), voire physico-chimique. Ce traitement consisterait à réduire la pollution particulaire et colloïdale par une filtration primaire à 5 µm précédée, si besoin, d'une étape de coagulation-floculation à partir de réactifs de synthèse ou biosourcés.

Mots-clés : traitement des eaux usées, filtration primaire, coagulation-floculation, réactifs de synthèse, réactifs biosourcés.

ABSTRACT

Horbourg-Wihr's wastewater system consists of a unitary type collection network and a water supply infrastructure pumping out the effluents to the Colmar's water purification plant. In 2012, during high groundwater measurement campaigns revealed dilution rates over 2000%. During dry weather, the excess water at the pumping station generates discharges to the natural environment.

To be successful in the short term to get rid of parasitic clear water the extend of works and Water Police's constant request led to a transitory solution about the treatment of excess effluents during dry weather.

Considering the intermittent nature of the hydraulic load shedding, the offered sector is a physical type (mechanical filtration) even physicochemical.

The treatment would consist in reducing the particulate and colloidal pollution by a primary filtration at 5 µm preceded if necessary by a coagulation-flocculation step from synthetic or biosourced reagents.

Keywords : wastewater treatment, primary filtration, coagulation-flocculation, synthetic reagents, biosourced reagents.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	9
1.1. Présentation de la structure d'accueil	9
1.2. Contexte et problématique.....	9
1.3. Objectifs de stage et des essais sur le pilote.....	11
2. ETAT DE L'ART	12
2.1. Traitement primaire conventionnel	12
2.1.1. Traitement primaire sans réactifs.....	12
2.1.2. Traitement primaire avec réactifs	12
2.2. Traitement primaire par microtamisage.....	13
2.3. La coagulation-floculation	13
2.3.1. La coagulation.....	14
2.3.2. La floculation.....	14
2.3.3. Les réactifs usuels.....	14
2.3.4. Les réactifs biosourcés	15
3. MATERIEL ET METHODES	17
3.1. Localisation du site pilote.....	17
3.2. Protocole opératoire et matériel des Jar-tests.....	18
3.2.1. Protocole des essais en jar-test pour la coagulation	18
3.2.2. Protocole des essais en jar-test pour la floculation	18
3.3. Synoptique de l'installation pilote.....	20
3.4. Description des équipements	21
3.5. Métrologie.....	30
3.6. Protocole opératoire des essais sur le pilote	30
3.7. Fonctionnement du pilote et collecte des données	31
4. RESULTATS	33
4.1. Caractéristiques des effluents.....	33
4.1.1. pH et température	33
4.1.2. Turbidité	33
4.1.3. Niveau de la nappe	34
4.1.4. Pluviométrie.....	35
4.2. Sélection des réactifs par Jar-Tests.....	35
4.2.1. Les réactifs biosourcés	36
4.2.2. Les réactifs de synthèse	40

4.2.3. Analyses physico-chimiques sur les surnageants	43
4.2.4. Jar-tests à partir d'un effluent dilué (Wihr)	46
4.3. Prise en main et paramétrages du filtre pilote.....	47
4.4. Essais sur le pilote sans le traitement physico-chimique.....	49
4.4.1. Sans dilution de l'effluent	49
4.4.2. Avec dilution de l'effluent.....	51
4.5. Essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés).....	52
4.5.1. Avec le coagulant seul	52
4.5.2. Concentration de coagulant fixe et doses de floculant croissantes.....	54
4.6. Essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs de synthèse)	56
4.6.1. Avec le coagulant seul	56
4.6.2. Concentration de coagulant fixe et doses de floculant croissantes.....	57
4.7. Bilan des analyses physico-chimiques sur le pilote.....	58
4.8. Essais avec une filtration à deux étages et traitement physico-chimique	60
4.9. Problématiques rencontrées sur l'installation	65
5. EVALUATION DES PARAMETRES DIMENSIONNELS.....	67
6. BILANS ENERGETIQUES ET FINANCIERS.....	69
6.1. Bilan énergétique	69
6.2. Bilan financier	69
7. CONCLUSION.....	71
LISTE DES FIGURES	72
LISTE DES TABLEAUX.....	74
LISTE DES PHOTOS	75
LISTE DES ACRONYMES.....	78
BIBLIOGRAPHIE.....	79
ANNEXES	81

1. INTRODUCTION

1.1. Présentation de la structure d'accueil

BEREST est un bureau d'études régional, principalement implanté dans le Nord-Est de la France. Cette société a été créée en 1959 et découle de la fusion de plusieurs cabinets d'ingénieurs conseils indépendants. Le capital est détenu en totalité par la famille ASELMAYER et par plusieurs cadres de la société.

En 2017, il y a eu la création de trois filiales :

- BEREST Rhin Rhône à Colmar,
- BEREST Lorraine à Phalsbourg
- BEREST Bourgogne à Dijon

La société compte actuellement plus d'une centaine de collaborateurs, et les secteurs d'activités sont les suivants :

- Assainissement
- Alimentation en eau potable
- Voirie
- Urbanisme et paysage
- Environnement
- Réseaux divers
- Electrification

J'ai réalisé mon stage au sein de BEREST Rhin-Rhône à Colmar au niveau du pôle eau et environnement. Ce pôle a notamment en charge la réalisation, des études et la maîtrise d'œuvre en hydraulique, traitement des eaux et environnement. L'équipe est composée d'un ingénieur chef de projet, d'ingénieurs d'études et de techniciens.

1.2. Contexte et problématique

Le système d'assainissement de la commune d'Horbourg-Wihr se compose d'un réseau de collecte de type unitaire et d'une station de pompage (ancienne station d'épuration) dirigeant les effluents vers la station d'épuration de Colmar. Celui-ci a fait l'objet d'études diagnostiques entre 2009 et 2016, où plusieurs dysfonctionnements ont été constatés. Une des problématiques soulevée est le volume important d'eau claire parasite s'infiltrant dans le réseau, en particulier sur le secteur de Wihr. Des campagnes de mesures datant de 2012 ont révélé des taux de dilution, respectivement pour Horbourg et Wihr, de 37 % et 634 % en période de nappe basse et de



Photo 1 : Bassin d'orage de la station de pompage d'Horbourg-Wihr

191% et 2522 % en période de nappe haute. Ces taux s'expliquent par la présence d'une nappe très proche du sol, sub-affleurante sur certains secteurs, d'un collecteur vétuste et peu étanche. Ce surplus d'eau durant près de 6 mois de l'année rend difficile le fonctionnement normal de la station de pompage. Les pompes de refoulement vers Colmar ont des durées de fonctionnement élevées, le bassin d'orage ne se vidange plus sur une longue période (Photo 1) et une partie des effluents sont ainsi by-passés vers le milieu naturel par temps sec et en nappe haute.

En 2016, le Schéma Directeur d'Assainissement de la commune a été élaboré et aborde les différentes solutions techniques envisagées. Un ordre de priorité des différents aménagements a été établi afin de constituer un programme de travaux pluriannuel. Toutefois, la difficulté d'arriver à un résultat satisfaisant en termes d'élimination des eaux claires à court terme, du fait de l'ampleur des travaux réseaux nécessaires et de la demande insistante de la Police de l'Eau d'une première réponse rapide à ce problème ont conduit à une solution transitoire portant sur le traitement des effluents excédentaires par temps sec. Cette mission s'inscrit dans le réaménagement de la station de pompage intercommunale d'Horbourg-Wihr, priorité n°1 pour le maître d'ouvrage Colmar Agglomération.

En 2018, un appel d'offre pour la maîtrise d'œuvre de la réhabilitation de la station de pompage de Horbourg-Wihr incluant une solution palliative immédiate a été lancé. Ce projet doit permettre d'optimiser la lisibilité du site et surtout de traiter au mieux de manière physique, voire physico-chimique, les effluents qui sont actuellement déversés par temps sec au milieu. La solution proposée par le cabinet BEREST Rhin-Rhône en groupement avec la Colmarienne des Eaux a été retenue par Colmar Agglomération. Le projet consiste entre autre à séparer les eaux usées de Wihr des effluents des autres communes (Horbourg, Bischwihr et Fortschwihr) en période de nappe haute et de temps sec et de les traiter sur une filière à part. En période de nappe basse l'objectif est de refouler l'ensemble des effluents vers la station de Colmar.

La filière proposée pour le traitement de ces eaux excédentaires serait composée d'une étape de prétraitement (dégrillage-dégraissage) et d'une filtration primaire sur toile microfibre (nouvelle technologie élaborée par la société MECANA). En complément, un traitement physico-chimique en amont de la filtration est envisagé. Son intégration dans la filière dépendra des contraintes de rejets requises par la Direction Départementale des Territoires. Cette problématique d'effluents de temps sec très dilués en amont d'un process biologique vient d'être traitée par BEREST sur le réseau intercommunal de la Communauté de Communes des Lac et Montagnes du Haut Doubs. En effet, une installation similaire au niveau de Lac de Saint-Point (Doubs), où BEREST avait proposé un procédé physico-chimique par filtration primaire puis tertiaire, et validé par un essai pilote. Cette filière avait permis l'obtention d'une qualité des eaux de baignade à partir des eaux usées. La solution sur Horbourg-Wihr, est une variante de l'expérience menée au Lac de Saint-Point. Cette filière étant inédite pour ce type d'application, le cabinet BEREST a soumis l'idée d'effectuer des essais pilotes in-situ, pour s'assurer de l'adéquation de cette solution avec les enjeux locaux et d'optimiser le dimensionnement de l'installation finale. L'idée d'un pilote a été approuvée par la Police de l'eau, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ainsi que le maître d'ouvrage Colmar Agglomération.



Photo 2 : Toile microfibre pour filtration primaire (source MECANA).

C'est dans ce contexte que mon stage en entreprise pour la validation du Mastère Spécialisé Eau Potable Assainissement s'inscrit.

1.3. Objectifs de stage et des essais sur le pilote

Les objectifs étaient d'établir le montage technique et financier de ce pilote et de mener les essais sur cette filière test. Les résultats recueillis doivent aboutir sur une solution technico-économique adaptée à son usage provisoire.

Ainsi, ce stage s'est décomposé en plusieurs phases afin d'atteindre les objectifs fixés. La première étape consistait à effectuer l'inventaire des coagulants-floculants de type biosourcé présents sur le marché, de réceptionner les différents échantillons et de mener des essais Jar-tests (Photo 3). Ces derniers avaient pour but de sélectionner le couple de réactifs adéquats aux effluents à traiter. Des jar-tests ont également été menés à partir de réactifs de synthèse. L'intérêt est

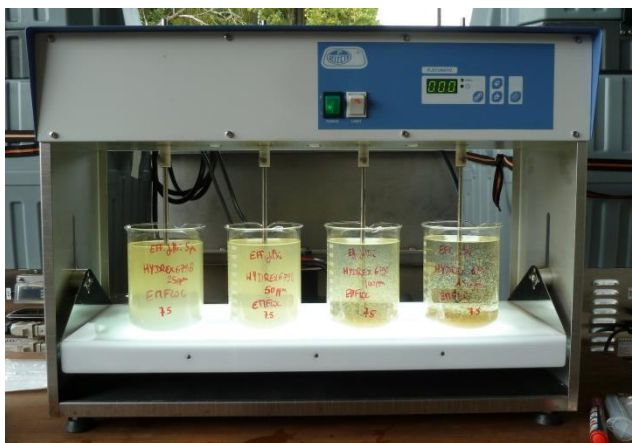


Photo 3 : Banc d'essais jar-tests.

de comparer par la suite, les rendements épuratoires entre ces deux types de réactifs et d'observer leur comportement sur la toile filtrante à 5 μ m. En parallèle, les différents éléments (filtre, pompes, vannes, agitateurs, cuves, etc.) constituant l'installation pilote étaient sélectionnés et commandés afin que le montage puisse rapidement démarrer. Ce travail a été réalisé en concertation avec la Colmarienne des Eaux qui a réalisé l'installation des différents composants.

Une fois l'installation terminée, la phase de test sur cette filière pilote a pu démarrer. Les premiers essais étaient uniquement basés sur la filtration primaire de l'effluent brut. Les seconds essais intégraient le traitement physico-chimique à partir des réactifs sélectionnés lors des jar-tests. De plus, pour refléter les conditions de nappe haute et simuler les entrées d'eau claire dans le réseau, l'effluent alimentant le filtre pouvait être préalablement dilué avec de l'eau de nappe. Ces dilutions ont été appliquées avec et sans le traitement physico-chimique. Ces premiers résultats nous ont amené à faire évoluer ce dispositif pilote afin de tester une dernière configuration : une filtration à deux étages avec traitement physico-chimique.

Enfin, la dernière phase de ce stage a consisté à rassembler et analyser l'ensemble des résultats obtenus, d'adapter la solution initiale à partir des éléments observés, et de dimensionner et chiffrer la solution finale pour cette phase transitoire.

2. ETAT DE L'ART

L'objectif du traitement d'une eau est l'élimination des impuretés qui se classent en trois catégories (DEGREMONT-SUEZ, 2005) :

- Les matières en suspension (sables, limons, débris organiques, plancton, *etc.*) ;
- Les matières colloïdales (argiles fines, bactéries, kystes de protozoaires, *etc.*) ;
- Les matières dissoutes (matières organiques dissoutes, sels, *etc.*).

Ces différents éléments sont responsables entre autres de la turbidité, de la couleur et de la salinité de l'eau. Pour les retenir, différents dispositifs de traitement des eaux résiduaires sont mis en place au niveau des stations d'épuration. Suite à un prétraitement (dégrilleur, dessableur et dégraisseur), une décantation gravitaire peut être employée pour retenir la pollution particulaire. Si cette décantation est précédée par l'ajout de réactifs, la fraction colloïdale pourra également être éliminée. Quant aux éléments dissous, ils seront dégradés par les microorganismes (traitement biologique) (SADOWSKI, 2013).

2.1. Traitement primaire conventionnel

2.1.1. Traitement primaire sans réactifs

Le traitement primaire est destiné à retenir une partie de la pollution particulaire. Ainsi, le procédé usuellement employé est la décantation gravitaire des matières en suspension (MES) au sein d'un ouvrage appelé décanteur primaire. Le temps de séjour est d'environ 1 à 2h pour une charge hydraulique superficielle de l'ordre de $1.8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$. L'eau dépourvue des matières décantées est évacuée par surverse puis dirigée vers le bassin de traitement biologique. Les matières piégées au fond de l'ouvrage sont raclées et aspirées vers la filière de traitement des boues. Cette décantation primaire a pour objectif de réduire la charge polluante avant le traitement secondaire.

La décantation primaire sans l'utilisation de réactifs permet d'obtenir, sur une eau résiduaire, des rendements (fonction du rapport MES/DBO₅) de l'ordre de 50% à 60% pour les MES, 25% à 30% sur la DCO, 30 à 35% sur la DBO₅ et de 5 à 10% sur le NTK (SADOWSKI, 2013).

2.1.2. Traitement primaire avec réactifs

L'utilisation de réactifs avant un décanteur primaire, permettra de retenir la fraction non décantable (colloïdes) et ainsi d'obtenir un meilleur rendement de rétention des MES. Les réactifs employés sont un coagulant et un floculant.

Les performances obtenues avec une décantation primaire physico-chimique (avec réactifs) dépendent du dosage des réactifs (40 à 200 mg/L en chlorure ferrique commercial et 0.25 à 1 mg/L en polymère anionique) et du rapport MES/DBO₅ sont de l'ordre de 80 à 90% pour les MES, 50 à 55% pour la DCO, 55 à 60% pour la DBO₅, 10 à 20% pour le NTK et 40 à 60% pour le P_{total}, selon le dosage de coagulant (SADOWSKI, 2013)

2.2. Traitement primaire par microtamisage

Ces dernières années, de nouvelles technologies ont été développées en remplacement des décanteurs primaires conventionnels ou pour le traitement des surverses de déversoirs d'orage. Il s'agit de micro-tamisage ou filtre à tamis. Cette technique s'appuie sur la séparation physique des particules présentes dans les eaux usées.

Récemment plusieurs procédés ont été mis au point, tels que le microtamisage sur tambour (Mecana et Hydrotech), sur disque (Mecana, Huber Technology, Nordic Water) ou encore sur bande filtrante (Salsnes). Les mailles les plus fréquemment utilisées sont de l'ordre de 40 à 600µm mais des mailles plus fines (5 à 10 µm) sont également disponibles. Les objectifs d'abattement des MES attendues s'échelonnent entre 30 et 60% sans avoir recours aux réactifs.

Les paramètres suivants détermineront les performances de ces différentes technologies :

- La distribution granulométrique des MES de l'effluent à traiter ;
- L'injection de réactifs (coagulant et floculant) en amont de la filtration ;
- La maille du média filtrant ;
- La charge hydraulique superficielle appliquée ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$) ;
- La charge massique en MES appliquée ($\text{kg MES}/\text{m}^2.\text{h}$) ;
- L'efficacité du lavage du média filtrant.

En 2018, la société Mecana, a mis au point un filtre primaire équipé d'une toile en poli-tissus dont le passant est de 5µm. Ce système de filtration primaire présente les avantages de traiter une large gamme de débits en minimisant l'empreinte au sol en comparaison avec des décanteurs primaires classiques (<http://www.mecana.ch>).

2.3. La coagulation-floculation

Le procédé de coagulation floculation permet l'élimination des matières en suspension et des colloïdes (Tableau 1), en les regroupant sous forme de floccs décantables (Figure 1).

Tableau 1 : Taille et temps de décantation des différentes particules (source : DEGREMONT-SUEZ, 2005).

Diamètre particules (µm)	Type de particules	Temps de décantation pour 1 m d'eau	
10^4	Gravier	1 seconde	Matières en suspension décantables
10^3	Sable	10 secondes	
10^2	Sable fin	2 minutes	
10	Limon	2 heures	
10	Kyste de protozoaire	20 heures	
1	Argile	2 jours	Colloïdes
1	Bactérie	8 jours	
10^{-1}	Colloïde	2 ans	
10^{-2}	Colloïde	20 ans	

- - - - Maille de la toile microfibre (5µm)

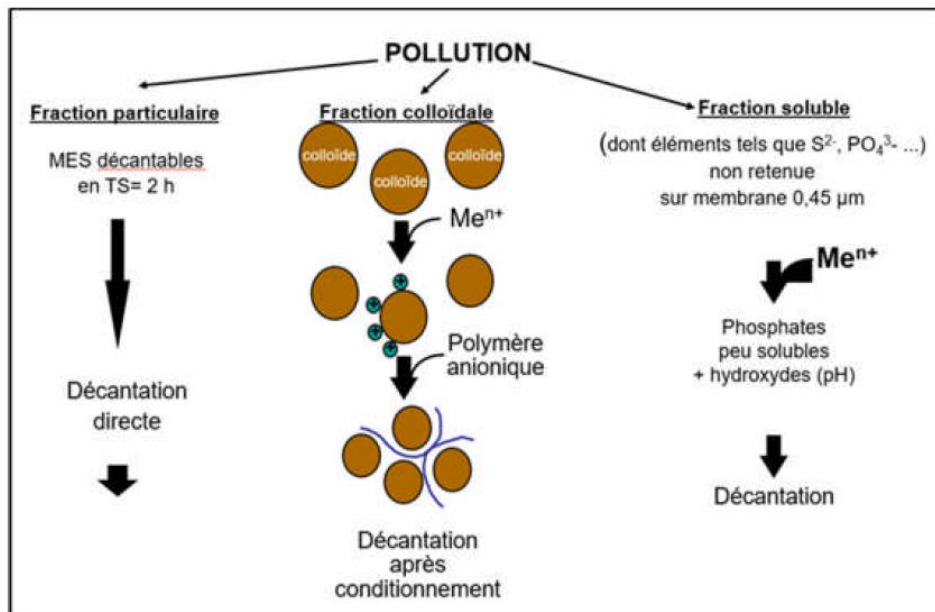


Figure 1 : Principe d'action de la coagulation-floculation sur les colloïdes (source : CARRAND G., CIRSEE)

2.3.1. La coagulation

Chaque type de particules possède un temps de décantation qui lui est propre. Les matières en suspension décantables (gravier, sable, limon) mettent entre 1 seconde et 2 heures pour parcourir verticalement un mètre d'eau. Les colloïdes quant à eux affichent un temps de plusieurs heures à plusieurs années (DEGREMONT-SUEZ, 2005). Ce sont donc des particules qui sont quasi impossibles à décanner notamment dû à une surface spécifique très élevée qui gouverne la stabilité de leur suspension dans l'eau. De plus, les colloïdes présents dans l'eau brute sont en général chargés négativement. La diminution de ces forces de répulsion électrostatiques s'obtient en ajoutant un produit coagulant. La coagulation correspond à cette étape de déstabilisation des suspensions colloïdales.

2.3.2. La floculation

L'étape de floculation consiste en l'agglomération des particules en micro-flocs au travers de pontage soit par les hydroxydes résultant de l'hydrolyse du coagulant minéral, soit par les macromolécules du polyélectrolyte anionique/cationique. L'agrégation des microflocs en flocs plus volumineux et décantables correspond à la floculation (DEGREMONT-SUEZ, 2005). Cette étape peut être améliorée grâce à l'ajout d'adjuvant de floculation : les floculants.

2.3.3. Les réactifs usuels

Les coagulants usuellement employés sont :

- Des coagulants minéraux tels que les sels d'aluminium et les sels de fer ;
- Des coagulants organiques de synthèse.

Il existe, également, plusieurs types de floculant :

- Les floculants minéraux comme la silice activée ;
- Les floculants organiques de synthèse (anionique, neutre ou cationique).

2.3.4. Les réactifs biosourcés

Un produit dit « biosourcé » désigne un matériau issu de ressources renouvelables végétales ou animales (RIVOLLET et SERRE, 2014). Ainsi en remplacement des réactifs cités précédemment, des coagulants organiques d'origine naturelle peuvent être employés dans le traitement de l'eau. Il en est de même pour les floculants organiques ou polymères naturels.

Différentes origines

Ces réactifs biosourcés peuvent avoir différentes origines :

- Le chitosan : descend de la chitine extrait de carapaces de crustacés ou de champignons (CRINI et al., 2009 ; TSM, 2014 et WUSTRACK, 2013) ;
- Les amidons : présents dans de nombreux végétaux tels que les pommes de terre et le maïs (TSM, 2014 et WUSTRACK, 2013) ;
- Les alginates : extraits d'algues brunes dont les principales espèces exploitées sont *Laminaria*, *Ascophyllum* et *Fucus* (TSM, 2014 ; RINAUDO, 2002) ;
- Les tanins : issus du métabolisme de certaines plantes comme l'*Acacia mearnsii*, *Castanea*, *Schinopsis balansae* (GAID et al., 2019) ;
- La cellulose : polymère d'origine végétale (DEGREMONT-SUEZ, 2005).

Avantages / inconvénients

Plusieurs études et projets récents mettent en avant les avantages des produits biosourcés (Figure 2) vis-à-vis des réactifs usuellement employés, et incitent à se diriger vers la chimie verte dans le traitement de l'eau. Il est question d'alternative prometteuse aux polymères synthétiques (WUSTRACK, 2013) et d'adopter une stratégie de développement durable (ABID et al., 2008). Les objectifs de ces recherches sont multiples, améliorer la technique de coagulation-floculation en simplifiant le nombre d'étapes, valoriser des substances naturelles locales, minimiser l'effet toxique des produits chimiques (chlorure de fer et sulfate d'alumine), respecter des normes de plus en plus drastiques ou encore réduire le coût de traitement des effluents (ABID, 2008).

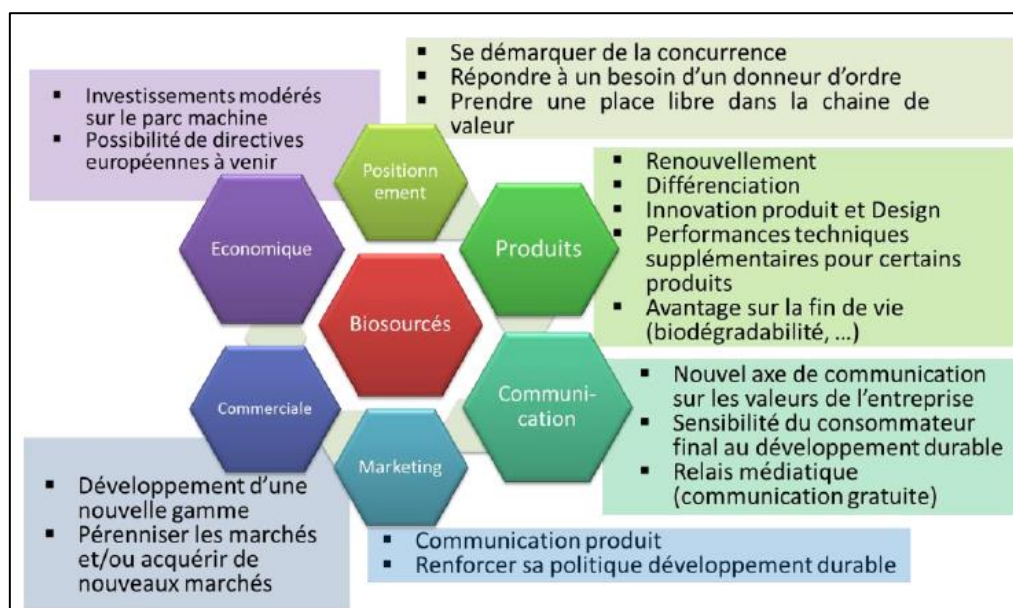


Figure 2 : Les avantages des polymères biosourcés (source : RIVOLLET et SERRE, 2014)

Ainsi, ces dernières années, plusieurs formulations à base d'amidon, d'extraits d'algues ou encore de chitosane sont étudiées (TSM, 2014).

C'est le cas du projet de recherche appliquée FloconBio (« Floculons bio »), lauréat de l'appel à projets éco-industrie en 2011 au sein du pôle compétitivité Dream. Durant 2ans, ce projet a permis l'association de Suez Environnement, le BRGM et deux PME de la région Centre, dans l'optique de tester des flocculants d'origine biologique en remplacement du polyacrylamide dans le traitement des eaux usées. Ce dernier possède une fraction de monomère, l'acrylamide, qui est listé au niveau européen comme cancérogène et mutagène (TSM, 2014).

Il est également indiqué un effet colmatant amoindri sur une filtration granulaire d'une eau coagulée, flocculée et décantée. En effet, l'utilisation d'un polymère anionique à base d'amidon activé (HYDREX 3842, VEOLIA) réduit la progression des pertes de charge dans un filtre bicouche (sable et anthracite) par rapport au polyacrylamide anionique (HYDREX 3551, VEOLIA), (DELLY-OUELLET, 2017). Des essais sur une unité pilote avec une filtration à deux étages indiquent de très bons résultats sur l'abattement des MES et de la turbidité mais des contraintes d'exploitation importantes notamment dû au colmatage des toiles de la filtration primaire lorsqu'elle est précédée d'une injection de polymère de synthèse (SADOWSKI et REGIS-VIERA, 2016). A l'inverse, l'utilisation d'un biopolymère dans les mêmes conditions permet de supprimer cet effet colmatant car cette propriété est propre aux polymères de synthèse. Quant à l'abattement des MES et de la turbidité, les résultats restent satisfaisants et compétitifs avec les réactifs de synthèse (SADOWSKI et REGIS-VIERA, 2016).

D'un point de vue économique, les matières premières pour fabriquer ces biopolymères sont présentes sous forme de déchets à faible coût et sont disponibles dans de nombreux endroits (WUSTRACK, 2013). Toutefois le marché de ces produits étant encore assez réduit les coûts restent supérieurs aux réactifs usuellement utilisés.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Localisation du site pilote

Le filtre pilote a été installé au niveau de la station de pompage intercommunale d'Horbourg-Wihr (ancienne station d'épuration). Cette dernière est située au Nord-Est de Colmar, à l'emplacement de l'ancienne station d'épuration communale, mise à l'arrêt dans les années 90 (Figure 3).

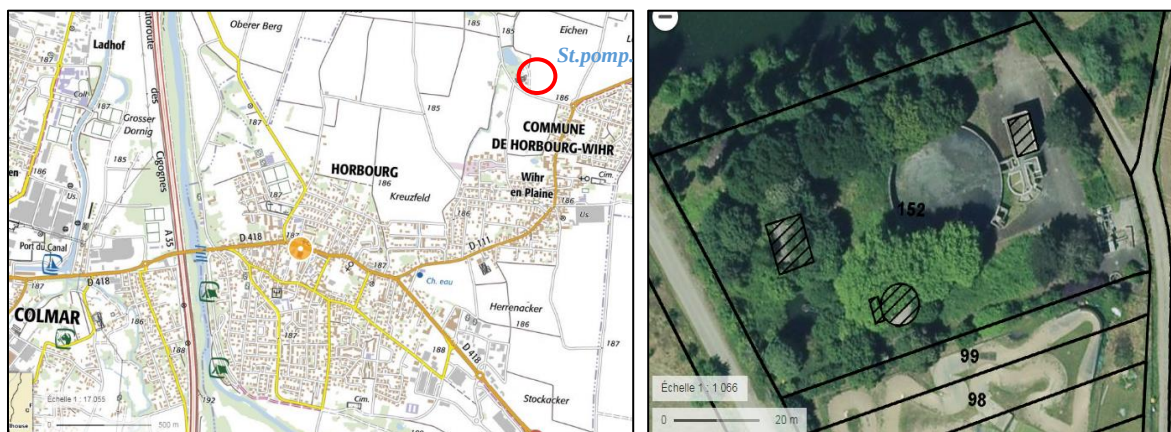


Figure 3 : Localisation et vue aérienne de la station de pompage d'Horbourg-Wihr (source : Géoportail.)

Ce site disposait d'avantages facilitant l'installation du pilote :

- Espace foncier disponible ;
- Local abrité (Photo 4) ;
- Accès à l'eau de nappe ;
- Electricité ;
- Accès carrossable ;
- Station de pompage avec prétraitement.



Photo 4 : Local d'accueil du filtre pilote.

3.2. Protocole opératoire et matériel des Jar-tests

Des essais croisés entre les coagulants et les floculants biosourcés (4 coagulants et 14 floculants) ont été menés afin de sélectionner la meilleure combinaison. Cette même démarche a été effectuée sur pour les réactifs de synthèse (2 coagulants et 15 floculants). Ci-dessous les protocoles (SADOWSKI, 2019), mis en œuvre pour les différents jar-tests.

3.2.1. Protocole des essais en jar-test pour la coagulation

Une série de quatre béchers de 500 mL contenant l'effluent à coaguler sont agités de façon identique. La série comporte une solution témoin sans addition de réactif, ainsi que la même solution soumise à des doses croissantes de coagulant (dosage à la seringue). Les réactifs sont agités à 150 tours/min durant une minute.

Ensuite la floculation est obtenue à vitesse d'agitation plus lente (50 tours/min) pendant quelques minutes. Enfin, les béchers sont laissés au repos, et les premiers résultats sont appréciés visuellement (qualité visuelle du floc, qualité visuelle du surnageant). Des mesures de pH, température et de turbidité sont opérées au niveau des surnageants de chaque bécher.

Procédure pour chaque coagulant testé :

- 1- Remplir les béchers avec l'eau brute et placer les béchers avec l'échantillon sur la rampe d'agitation et démarrer l'agitation rapide à 150 tr/mn ;
- 2- Mesure de la turbidité, de la température et du pH ;
- 3- Injection de différentes concentrations de coagulant à chaque bécher avec l'aide de seringues, soit des doses comprises entre 50 et 1000 mg/L de produit actif ;
- 4- Brassage du mélange pendant 2 min en agitation rapide ;
- 5- Évaluation du temps mis par le floc pour passer la barre des 250 mL ;
- 6- Après 5 minutes de décantation, mesure de la turbidité, du pH, et de la température du surnageant ;
- 7- Notation de la taille des micro-flocs de 0 à 10.

La durée de la coagulation sera conforme au process de l'installation proposé.

3.2.2. Protocole des essais en jar-test pour la floculation

Une série de quatre béchers de 500 mL contenant l'eau à floculer sont agités de façon identique. On ajoute la dose optimale de coagulant précédemment déterminée, suivi d'un brassage énergique pendant quelques minutes. La série comporte une solution témoin sans addition de polymère, ainsi que la même solution soumise à des doses croissantes de polymère (dosage à la seringue). Les réactifs sont d'abord mélangés rapidement pendant une courte durée. Ensuite la floculation est obtenue à vitesse lente pendant quelques minutes. Enfin, les béchers sont laissés au repos (évaluation du temps mis par le floc pour passer la barre des 250 ml), et les résultats sont d'abord appréciés visuellement (qualité visuelle du floc, qualité visuelle du surnageant). Prélèvement du surnageant dans chaque bécher et mesure de la turbidité, du pH et de la température. Notation de 0 à 10 de la taille du floc.

Procédure par chaque floculant testé :

- 1- Remplir les béchers avec l'eau brute et placer le bécher avec l'échantillon sur la rampe d'agitation et démarrer l'agitation rapide à 150 tr/mn ;
- 2- Mesure de la turbidité, de la température et du pH ;
- 3- Injection du coagulant choisi à la dose optimale dans chaque bécher ;

- 4- Brassage du mélange pendant 2 mn en agitation rapide ;
- 5- Après l'injection de chaque polymère choisi (à différentes concentrations) agitation lente avec une vitesse de 50 tr/mn pendant 10 à 15 mn ;
- 6- Arrêt de l'agitation ;
- 7- Évaluation du temps mis par le floc pour passer la barre des 250 mL ;
- 8- Après 5 min de décantation, mesure de la turbidité, du pH et de la température du surnageant ;
- 9- Notation de la taille du floc de 0 à 10.

La durée de la floculation sera conforme au process de l'installation proposé.

Matériel utilisé pour la réalisation de ces tests :

- Verrerie de type béchers (500mL et 1L) ;
- 1 pH-mètre et un thermomètre ;
- Dispositif d'agitation ;
- Balance de précision ;
- 1 turbidimètre ;
- Les échantillons de coagulants et floculants.

Pour compléter ces essais jar-tests, des analyses physico-chimiques ont été réalisées par le laboratoire de la Colmarienne des Eaux (Accréditation COFRAC N°1-5827). Ci-dessous la liste des paramètres analysés et les normes employées :

Paramètres	Norme / Méthode
Matières en suspension (MES)	NF EN 872, avec filtres Sartorius 13440
Demande chimique en oxygène (DCO)	NF T90-101
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	NF EN 1899-1
Azote total Kjeldahl (NTK)	Méthode interne selon la TC.P001.M006
Phosphore total (Pt)	NF ISO 15923-1

3.3. Synoptique de l'installation pilote

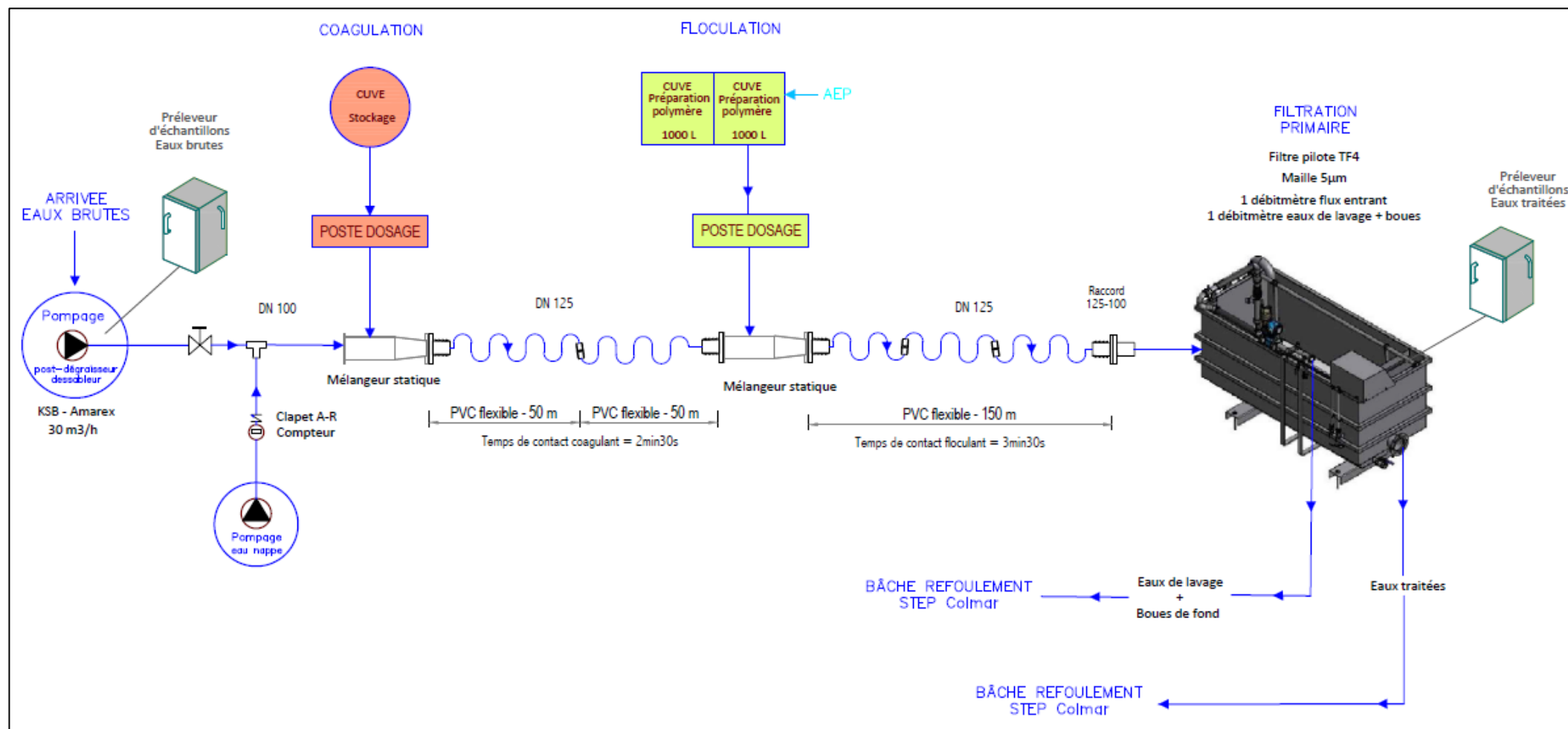


Figure 4 : Schéma général de l'installation pilote

L'installation se compose en suivant la ligne d'eau et d'après la Figure 4 ci-avant, des équipements ci-après :

- Pompe d'alimentation de l'eau usée, immergée dans l'ouvrage en sortie de dégraisseur-dessableur ;
- 1^{er} préleveur d'échantillons de l'eau usée brute ;
- Vanne de régulation ;
- Connexion à l'eau claire équipée d'une pompe d'alimentation, d'un compteur, et d'un clapet anti-retour ;
- Bidon d'injection du coagulant associé à un poste de dosage et d'un mélangeur statique ;
- Dispositif permettant de respecter le temps de contact pour la coagulation (100 m de tuyau PVC flexible - DN 125) ;
- Deux cuves d'injection du flocculant, munies d'agitateurs et associées à un poste de dosage et d'un mélangeur statique ;
- Dispositif permettant de respecter le temps de contact pour la floculation (150 m de tuyau PVC flexible – DN 125) ;
- Dispositif de filtration primaire sur toile filtrante Politissus (OptiFiber) avec une maille à 5µm, composé d'un débitmètre en entrée de filtre et d'un dispositif de lavage et d'évacuation des boues de fond avec débitmètre ;
- 2nd préleveur d'échantillons de l'eau usée filtrée ;
- Dispositif de récupération des eaux traitées équipé d'une pompe permettant de renvoyer les eaux en sortie de filtre vers la bêche de refoulement.

3.4. Description des équipements

Pompe d'alimentation de l'eau usée, immergée dans l'ouvrage en sortie de dégraisseur-dessableur.

La pompe de type AMAREXNF80-220 / 044ULG-195 de la marque KSB a été sélectionnée (Photo 5), après détermination de la hauteur manométrique totale (HMT) nécessaire à l'installation pilote. La courbe caractéristique hydraulique de cette pompe est disponible en ANNEXE 1. Cette hauteur a été calculée à partir de la formule de Lechapt et Calmon :

$$J = L \cdot Q^M \cdot D^{-N}$$

Avec : J : Perte de charge (mm/m)
 Q : débit (m³/s)
 D : diamètre de la conduite
 L, M et N : Coefficient dépendant de la rugosité

Soit : Q = 60 m³/h = 16,7 L/s (permet de tester les limites du filtre, le débit maximum selon MECANA s'élève à 48 m³/h)
 D = 0,125 m
 Conduite en PVC : L = 1,01 ; M = 1,84 ; N = 4,88

$$J = 1,01 \cdot (1,7 \cdot 10^{-3})^{1,84} \cdot 0,125^{-4,88}$$

$$J = 13,8 \text{ mm/m}$$

Ainsi les **pertes de charge linéaires** pour une longueur de conduite égale à 300 m s'élève à **4,1 m**. A cela s'ajoute la **hauteur géométrique** qui est de **3 m** et les pertes de charge singulières (vannes, mélangeurs statiques, raccords, etc.) représentant moins de **0,5 m**. La **Hauteur Manométrique Totale minimum** est donc de **7,6 m**.

Il s'agit d'une pompe submersible et adaptée pour les eaux usées et les eaux vannes.



Photo 5 : Pompe d'alimentation et son installation dans l'ouvrage en sortie de dégraisseur.

L'alimentation électrique de cette pompe s'effectuait au travers d'une armoire électrique (Photo 6). Un variateur de fréquence permettait de régler le débit d'entrée de l'installation pilote. En complément de ce variateur, une vanne de régulation a été mise en place (Photo 6). A noter, que le filtre pilote était positionné altimétriquement plus bas que la pompe d'alimentation, il y avait donc un phénomène de siphonage qui s'instaurait après chaque arrêt de la pompe d'alimentation. La fermeture de cette vanne entraînait l'arrêt total de l'alimentation en eau du filtre pilote.



Photo 6 : Armoire électrique avec variateur de fréquence et vanne de régulation située après la pompe d'alimentation

Préleveurs d'échantillons

L'installation pilote se compose de deux préleveurs d'échantillons automatiques pour liquides, (BÜHLER 2000 de la société HACH-LANGE), avec 24 flacons de 1 L pour stocker les échantillons prélevés (Photo 7). Les flacons étaient homogénéisés en fin d'essais pour

n'obtenir qu'un échantillon par préleveur. Ces préleveurs sont pourvus d'un système de refroidissement, fournissant un échantillonnage réfrigéré et simplifié. La programmation des prélèvements s'effectuait au travers d'un menu simplifié. Les données enregistrées dans le programme permettaient d'obtenir un volume d'échantillon suffisant pour le laboratoire (3L minimum) à partir d'un volume de 50 mL par prélèvement. A noter que le débit d'alimentation du pilote était fixe au cours de l'échantillonnage.



Photo 7 : Préleveur d'échantillon (Bülher 2000, Hach-Lange)

Le premier préleveur était situé en tête de l'installation. Il permettait de récolter les échantillons d'eaux brutes pour les analyses physico-chimiques. Le second préleveur était quant à lui positionné à la fin de l'installation, pour recueillir les eaux filtrées.

Connexion à l'eau claire

Pour se rapprocher des conditions hivernales lorsque la nappe est haute et que les entrées d'eaux claires parasites dans le réseau sont importantes, une connexion à l'eau de la nappe a été insérée au niveau de l'installation (Photo 8). Cela a permis de simuler différents taux de dilution de l'effluent et d'observer le comportement du filtre pilote avec des effluents moins chargés en pollution. Le débit d'eau de nappe pouvant être injecté s'élevait à 12 m³/h. Cette connexion était constituée d'un pompage, d'un compteur, d'un clapet anti-retour (afin d'éviter que de l'eau usée vienne polluer la nappe), d'une vanne et de deux raccords en té. Un de ces raccords servait à alimenter les cuves en eau claire pour la préparation du floculant.



Photo 8 : Connexion de l'eau de la nappe à l'installation pilote

Cuve de stockage du coagulant associé à un poste de dosage et d'un mélangeur statique.

La cuve de coagulant a été positionnée au même niveau que la pompe doseuse (Photo 9). L'injection de coagulant est réalisée par une pompe doseuse volumétrique de la marque ProMinent (Débit nominal de 109 l/h à 10 bars). Il est possible de régler le débit d'injection du coagulant souhaité à partir d'un variateur de fréquence et de la longueur de course du

piston (réglable en pas de 1%), suite à l'étalonnage de la pompe. Deux coagulants ont été utilisés pour les essais, un coagulant d'origine biosourcée à base de tanin (HYDREX 6798 de la société VEOLIA) et un coagulant de synthèse le VTA Combifloc (aluminium à haute basicité) de la société VTA.



Photo 9 : Bidon de coagulant biosourcé associé au poste de dosage et pompe d'injection

L'injection s'effectuait au niveau d'un mélangeur statique de la marque Sulzer et adapté aux réseaux d'assainissement (Photo 10). A noter que le risque de colmatage de la canalisation causé par les matières grossières comme les lingettes est plus élevé au niveau de ce type de pièce. Toutefois, les ailettes permettant de créer des turbulences sont orientées de façon à limiter ce risque.



Photo 10 : Mélangeur statique et injection du coagulant au niveau du mélangeur statique

Deux cuves d'injection du floculant, munies d'agitateurs et associées à un poste de dosage et d'un mélangeur statique.

Deux cuves de stockage de 1000 L ont été reliées à un poste de dosage (pompe volumétrique ProMinent, débit de 365 L/h à 10 bars, longueur de course du piston réglable) permettant l'injection du floculant au niveau d'un mélangeur statique. Ces deux cuves contenaient la préparation de floculant à la concentration souhaitée (Photo 11). Cette dernière était nécessaire afin de faciliter le mélange du floculant avec les eaux à traiter. Pour assurer une bonne homogénéisation de la solution et un brassage continu durant les essais, les agitateurs à

pales étaient actionnés. L'alimentation de l'eau de dissolution était réalisée grâce à la connexion à l'eau de la nappe. Les floculants employés étaient le EMFLOC KCG750 de la société Emsland (réactif biosourcé à base d'amidon) et le VTA DW303 de la société VTA (polyacrylamide).



Photo 11 : Cuves de préparation du floculant munies d'agitateur et pompe doseuse

Dispositif permettant de respecter les temps de contact pour la coagulation et la floculation

Les jar-tests ont permis de déterminer les temps de contact nécessaires pour chaque réactif. Pour la coagulation, la formation de micro-flocs apparaît au bout d'une minute. Pour la floculation, le temps de contact est doublé. A l'issue de ces réactions les flocs sont de taille et de solidité suffisantes.

La solution technique privilégiée pour respecter ces temps sur l'installation pilote se décline en un linéaire de tuyau (PVC flexible – DN125, Photo 12). Ainsi pour un débit d'alimentation du filtre de $48 \text{ m}^3/\text{h}$, des temps de contact de 1 et 2 minutes et des vitesses comprises entre 0.6 et 1.2 m/s, il était nécessaire d'avoir un linéaire minimum de 65 m après le poste de coagulation et de 125 m après la floculation. Les tuyaux en PVC flexible étant disponibles en rouleau de 50m, les longueurs retenues ont été de 100 et 150m. Une attention a été portée sur les vitesses d'écoulement afin qu'elles ne soient ni trop faibles pour éviter le dépôt de flocs, ni trop élevées pour empêcher la déstructuration des flocs.

Ce dispositif a été choisi au détriment d'une cuve avec une agitation lente pour des raisons économiques et de facilité de mise en œuvre. De plus, le site d'accueil de l'installation permettait de déployer ces importants linéaires de tuyau et ce procédé présentait l'avantage d'établir un écoulement de type flux piston.

Les premiers essais ont montré que le filtre ne pouvait accepter qu'un débit d'alimentation de $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette baisse de débit a permis de diminuer les vitesses d'écoulement de 1.1 à 0.7 m/s et d'augmenter les temps de contact à 2min30s et 3min40s, ce qui ne pouvait être que bénéfique pour la coagulation et la formation des flocs.



Photo 12 : Dispositif permettant de respecter les temps de contact après la coagulation-floculation

Dispositif de filtration primaire des eaux usées de la société MECANA, toile filtrante en politissus (OptiFiber PF-14 - maille à 5µm)

Ce système de filtration, élaboré par MECANA, répond au traitement primaire des eaux usées et de temps de pluie (Photo 13). Cette solution a été élaborée pour abattre la pollution particulaire, limiter l'empreinte au sol et traiter une large gamme de débit sans utilisation de produits chimiques. Ce système de filtration apparaît ainsi comme une solution technico-économique viable et adaptée à la problématique d'Horbourg-Wihr.



Photo 13 : Filtre pilote TF4 (MECANA)

L'appareil de filtration Mecana est constitué d'une toile filtrante (Politissus OptiFiber PF-14 – maille 5 µm) montée sur un tambour perforé horizontal (Filtre à tambour TF4) immergé dans les eaux à traiter (Photo 14 et ANNEXE 2). Cette étape de filtration sera précédée ou non par un traitement physico-chimique à partir d'effluents bruts ou dilués. La filtration est de type out-in (Figure 5). Les eaux usées traversent le médiateur filtrant et les matières en suspension sont retenues par les fibres du tissu. L'eau filtrée s'écoule à l'intérieur du tambour vers un canal montant (Photo 14). Le bord supérieur de ce canal sert de trop plein en cas d'urgence. Le niveau minimal d'eau dans la cuve du filtre est déterminé par le niveau de déversement.

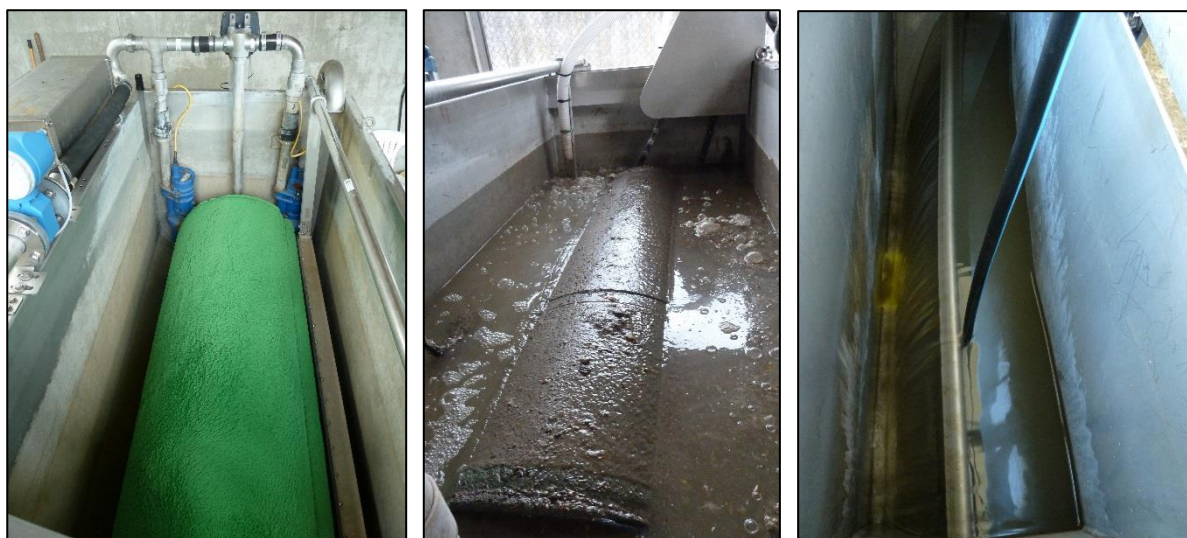


Photo 14 : Tambour avec médiateur filtrant propre et en action de filtration ainsi que le déversement des eaux filtrées dans le canal montant et du trop-plein d'urgence.



Figure 5 : Schéma de principe de la filtration (source : MECANA)

L'accumulation des dépôts de matières sur la toile augmente la résistance de l'eau pour traverser le filtre, ce qui entraîne l'élévation du niveau de l'eau dans la cuve de filtration. Lorsque la valeur maximale est atteinte (paramètre renseigné et modifiable à partir de l'ordinateur du filtre) la procédure de lavage se déclenche. Cette dernière est d'une dizaine de centimètres et représente la différence entre le niveau de l'eau à filtrer (entrée) et le niveau de l'eau filtrée (sortie). Cette différence de niveau est visible de l'extérieur du filtre grâce à deux tubes de niveau (Photo 15). Si cette valeur n'est pas atteinte pendant une période définie, le lavage est déclenché par temporisation. La procédure de lavage consiste au démarrage du moteur permettant de faire tourner le tambour autour de son axe et d'actionner en même temps, la pompe d'aspiration permettant de décoller les dépôts de matière du médiateur filtrant (Figure 6 et Photo 16). Le lavage est de type in-out et aspire les eaux filtrées pour le nettoyage. La filtration n'est pas interrompue pendant les cycles de lavage.



Photo 15 : Tubes de niveau, niveau de l'eau à filtrer (g.) et de l'eau filtrée (d.)

Les boues accumulées dans le fond de la cuve en forme d'entonnoir sont évacuées périodiquement grâce à une deuxième pompe d'aspiration. Les boues de fond et les eaux de

lavage sont comptabilisées par un débitmètre avant d'être envoyées vers la bêche de refoulement de la STEP de Colmar.



Figure 6 : Schéma du lavage de la toile filtrante (source MECANA)



Photo 16 : Tambour lors d'un cycle de lavage

L'ensemble des paramètres sont consultables et modifiables grâce à un ordinateur de bord connecté au filtre et à ses différents appareils de mesures (débitmètres, niveaux d'eau, turbidimètres). De plus, une interface graphique (Figure 7) représentant le synoptique de ce système de filtration permet de visualiser en direct lors des essais les principales caractéristiques de fonctionnement (débit d'entrée, niveaux d'eau, cycles de lavage, etc.).

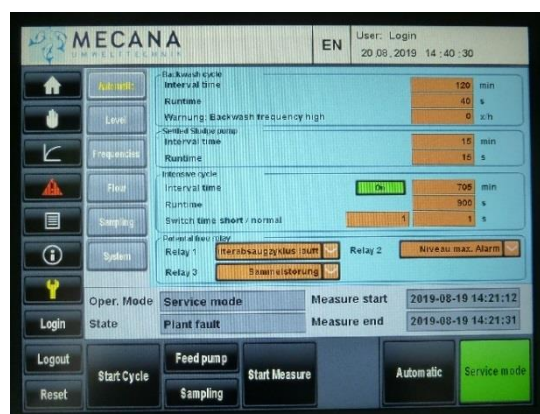
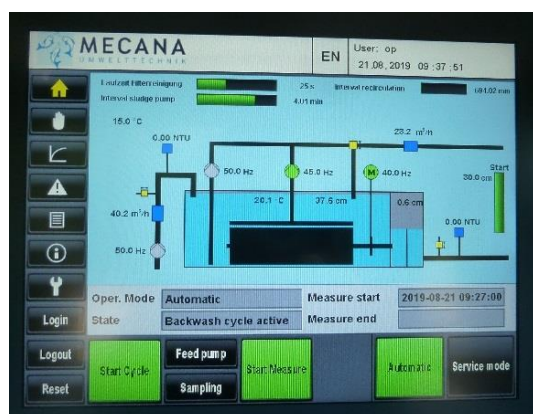


Figure 7 : Interface graphique du filtre pilote TF4

Un dispositif de récupération des eaux traitées équipé d'une pompe permet de renvoyer les eaux en sortie de filtre vers la bêche de refoulement.

Les eaux filtrées sont acheminées vers une cuve disposée dans le chenal de dessablage/décantation. Pour éviter des rejets d'effluent peut-être non conformes (Arrêté du 21 juillet 2015), vers le milieu naturel durant les essais, la cuve est équipée d'une pompe permettant de refouler les eaux filtrées vers la bêche de refoulement de la station d'épuration de Colmar (Photo 17).



Photo 17 : Sortie du filtre pilote et dispositif de réception des eaux traitées

Les avantages de ce procédé de filtration vis-à-vis de la problématique sur Horbourg-Wihr seraient les suivants :

- Maille à 5 microns permettant de retenir une part importante des MES ;
- Lavage à contrecourant moins agressif pour la toile filtrante ;
- Economies de fonctionnement : il n'est pas nécessaire d'un lavage à l'eau chaude ou d'un nettoyage avec un surpresseur d'air ;
- Pas de déchets solides à gérer sur site, le retour des déchets se fait par voie humide ;
- Rendement hydraulique intéressant : les eaux de lavage à contrecourant représentent entre 1.5 et 5% du débit traité ;
- Mise à l'arrêt de l'installation pendant la période de nappe basse : ces installations sont utilisées en Suisse et en Allemagne pour le traitement des eaux pluviales et sont donc déjà conçues pour un fonctionnement de type évènementiel ;
- Le confinement dans un bâtiment n'est pas indispensable, les filtres se trouvent habituellement dans une fosse, au fil de l'eau.

Les points de vigilance seraient les suivants :

- Choix judicieux du dégrilleur /tamiseur de tête du Filtre Mecana : ceci permettrait de soulager la charge en MES arrivant sur ces filtres et en permettre un dimensionnement optimisé ;
- Intérêt d'un dégraissage en amont du filtre (à vérifier en fonction des spécificités des effluents de la commune) ;
- Opportunité d'un complément physico chimique.

3.5. Métrologie

Différents appareils de mesures étaient disposés sur cette installation pilote afin de suivre l'évolution de paramètres tels que les débits et la turbidité. Ces données étaient enregistrées grâce à l'enregistreur de données du système de commande du filtre.

Débitmétrie

Un premier débitmètre électromagnétique avec affichage permettait de mesurer les débits d'alimentation du filtre pilote. Un second débitmètre comptabilisait les débits des eaux de lavage et des boues de fond (Photo 18). L'ensemble des données étaient consultables en direct lors des essais et enregistrées toutes les 10s.

Turbidimétrie

Deux turbidimètres étaient installés sur le pilote et une mesure en continu de la turbidité des effluents en entrée et sortie de filtre était opérés (Photo 18).

pH-métrie et température

Des mesures ponctuelles de pH et de température étaient effectuées au travers d'une sonde multi-paramètres.



Photo 18 : Débitmètres et turbidimètres installés sur le filtre pilote.

3.6. Protocole opératoire des essais sur le pilote

Les essais ont été divisés en deux phases :

La **première phase** consistait à une filtration primaire sans traitement physico-chimique au préalable. La **deuxième phase** consistait à une coagulation-floculation avec des réactifs de synthèse ou biosourcés en amont du filtre Mecana.

La gamme de débits de traitement de l'unité pilote était de 10 à 30 m³/h. Des essais, non concluants, ont été menés avec des débits d'alimentation allant jusqu'à 50 m³/h.

Procédure des essais de filtration sans coagulation-floculation :

1. Mise en route du pilote et de la pompe d'alimentation ;
2. Vérifier et ajuster le débit d'alimentation souhaité ;
3. Passage en mode automatique (lavages et extraction des boues) ;
4. Lancer l'enregistrement des données du pilote ;
5. S'assurer du bon fonctionnement du filtre (déroulement des cycles de lavage et de l'extraction des boues) ;
6. Suivre l'évolution des turbidités d'entrée et de sortie ainsi que les fréquences de lavages ;
7. Si des prélèvements étaient réalisés lors des essais, programmation et réglage des préleveurs selon le débit d'alimentation du pilote ;
8. À la fin d'une journée d'essais : passage en mode manuel ;
9. Arrêt des enregistrements et récupération du fichier de données ;
10. Arrêt de l'alimentation du filtre.

Procédure des essais de filtration avec coagulation-floculation :

1. Préparation de la solution de floculant à la concentration souhaitée (1 à 3 g/L) ;
2. Mise en route des agitateurs ;
3. Préparation de la solution de coagulant ;
4. Alimentation du filtre et ajuster le débit ;
5. Mise en route des pompes doseuses et réglage aux débits souhaités ;
6. Passage en mode automatique (lavages et extraction des boues) ;
7. Lancer l'enregistrement des données du pilote ;
8. S'assurer du bon fonctionnement du filtre (déroulement des cycles de lavage et de l'extraction des boues) ;
9. Suivre l'évolution des turbidités d'entrée et de sortie, des fréquences de lavages et de la formation des floccs ;
10. Si des prélèvements étaient réalisés lors des essais, programmation et réglage des préleveurs selon le débit d'alimentation du pilote ;
11. À la fin d'une journée d'essais : passage en mode manuel ;
12. Arrêt des pompes doseuses et rinçage à l'eau claire de l'ensemble du dispositif de coagulation-floculation (cuves et poste de dosage) ;
13. Arrêt des enregistrements et récupération du fichier de données ;
14. Déclenchement de lavages successifs du pilote ;
15. Arrêt de l'alimentation du filtre.

3.7. Fonctionnement du pilote et collecte des données

Les essais ont duré deux mois et demi, suite à l'installation et à la mise en route du pilote. Le fonctionnement du pilote était discontinu au cours de cette période (Tableau 2, Tableau 3, Tableau 4). Par mesure de sécurité, une personne était présente sur le site pilote dès que l'alimentation du filtre était opérée. Un à quatre jours par semaine étaient consacrés aux essais. Ces derniers ont été précédés de Jar-tests afin de sélectionner un couple de réactifs de synthèse et un couple de réactifs biosourcés pour l'étape de coagulation-floculation

Tableau 2 : Planning de fonctionnement du pilote sans traitement physico-chimique.

Date	Unités	21/08/19	22/08/19	28/08/19	29/08/19	10/09/19	24/09/19	30/09/19	07/10/19	08/10/19	22/10/19
Pluviométrie	mm	0	0	0	0.1	-	-	-	-	-	-
Débit eaux usées	m ³ /h	20-30-40	20-30	12-18-28	30-37-28	30-18	12	10-20	9	6-3	20
Débit ECP	m ³ /h	-		12	12	12	12	-	-	12	-
Taux de dilution		-		43%-67%-100%	0%-43%	0%-67%	100%	-	-	200%-400%	200%-400%
MECANA		Filtration maille 5µm									
Débit d'alimentation	m ³ /h	20-30-40	20-30-40	24-30-40	30-37-40	30	24	10-20	9	18-15	18-15

Tableau 3 : Planning de fonctionnement du pilote avec traitement physico-chimique à partir de réactifs de synthèse.

Date	Unités	23/09/19	24/09/19	26/09/19	01/10/19	09/10/19	14/10/19	22/10/19
Pluviométrie		Oui	-	-	-	-	-	-
Débit eaux usées	m ³ /h	30	30	30	6-12	20-30	20	30-24
Débit ECP	m ³ /h	-	-	-	12	-	-	0-12
Taux de dilution		-	-	-	100	-	-	0-100%
Physico-chimie	-	Coagulant et floculant de synthèse à différentes concentrations						
MECANA	-	Filtration maille 5µm						
Débit d'alimentation	m ³ /h	30	30	30	18-24	20-30	-	30

Tableau 4 : Planning de fonctionnement du pilote avec traitement physico-chimique à partir de réactifs biosourcés

Date	Unités	10/09/19	17/09/19	19/09/19	02/10/19	09/10/19	14/10/19
Pluviométrie		-	-	-	-	-	-
Débit eaux usées	m ³ /h	30	30	30	20	20	20
Débit ECP	m ³ /h	-	-	-	-	-	-
Taux de dilution		-	-	-	-	-	-
Physico-chimie	-	Coagulant et floculant biosourcés à différentes concentrations					
MECANA	-	Filtration maille 5µm					
Débit d'alimentation	m ³ /h	30	30	30	20	20	20

4. RESULTATS

4.1. Caractéristiques des effluents

Les échantillons de l'effluent de Horbourg-Wihr sont prélevés après les étapes de dégrillage, dégraissage, dessablage et les échantillons de l'effluent de Wihr sont récupérés sur un point du réseau. De plus, les échantillons désignés sous l'appellation « HORBOURG-WIHR » sont issus du mélange des effluents de Horbourg, Wihr et Bischwihr, ces derniers n'étant pas dégrillés.

4.1.1. pH et température

Le pH des effluents de Horbourg-Wihr et de Wihr sont très légèrement basiques avec des valeurs oscillant entre 7,4 et 8. Les données de température fluctuent quant à elles entre 17 et 22°C sur la période de juin à octobre.

4.1.2. Turbidité

Les valeurs de turbidités de l'effluent de Horbourg-Wihr sont variables d'un jour à l'autre (Photo 19). Les données mesurées fluctuent entre 33 et 350 NTU. Cela indique des variations au niveau de la composition de l'effluent. Ce dernier est en effet plus ou moins turbide selon la météo (temps de pluie/ temps sec) et la période de la journée.

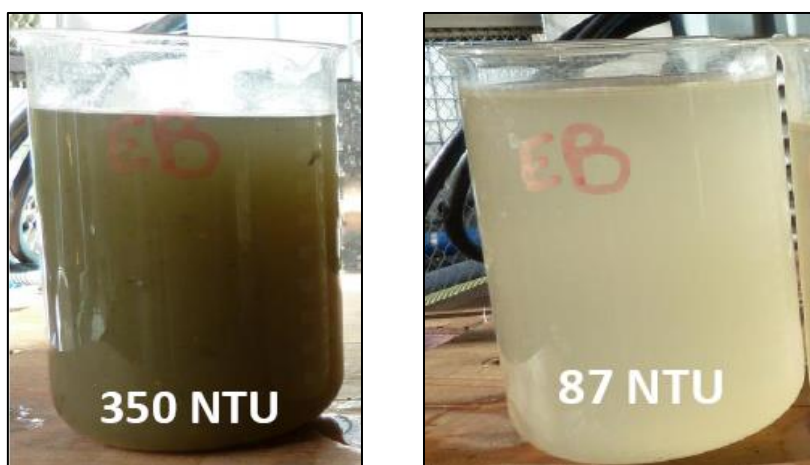


Photo 19 : Effluent entrant à la station en début de temps de pluie (g.) et effluent quelques heures après une averse (d.)

Des mesures de turbidités complémentaires ont été réalisées lors des jar-tests sur les effluents de Horbourg-Wihr et de Wihr ainsi que sur l'eau de nappe à titre comparatif (Figure 8). Ces différents fluides ont été passés au travers d'un filtre café pour avoir des données comparatives lorsque cette même manipulation a été effectuée lors des jar-tests.

La turbidité de l'effluent de Horbourg-Wihr est décroissante entre le 16 et 23 juillet 2019 mais reste toujours plus élevée à celle de l'effluent de Wihr (Figure 8). L'eau de la nappe phréatique, exempte de turbidité, fait office de référence notamment sur le temps de filtration. Le volume filtré est systématiquement de 500mL.

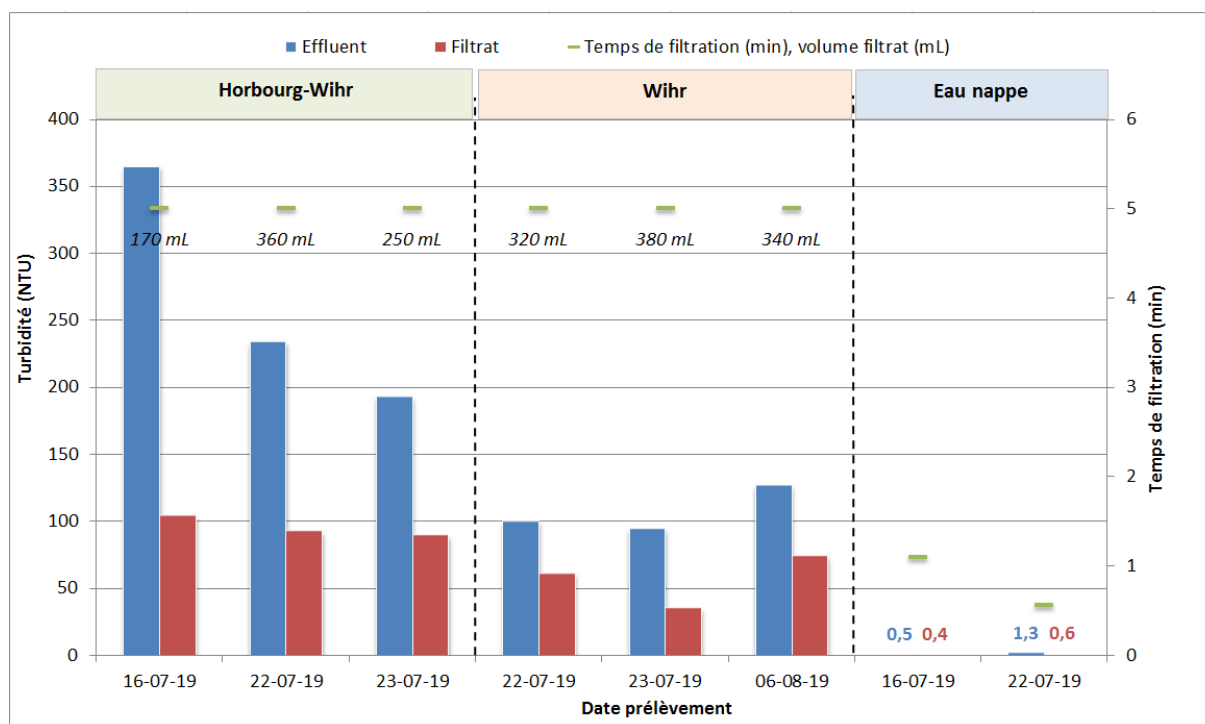


Figure 8 : Turbidité des effluents de Horbourg-Wihr et Wihr et de l'eau de la nappe phréatique avant et après filtration (sur filtre à café) ainsi que la durée de la filtration. Lorsque la durée de filtration > 5min, le volume du filtrat est indiqué.

4.1.3. Niveau de la nappe

Le niveau de la nappe est un paramètre primordial dans le contexte de ce projet. En effet, l'entrée des eaux claires parasites dans le réseau va définir le taux de dilution des effluents à traiter. Cette problématique a lieu notamment en période de nappe haute (novembre à avril). Or les jar-tests et les essais sur le pilote se sont déroulés de mai à novembre, c'est-à-dire en période de nappe basse (Figure 9).

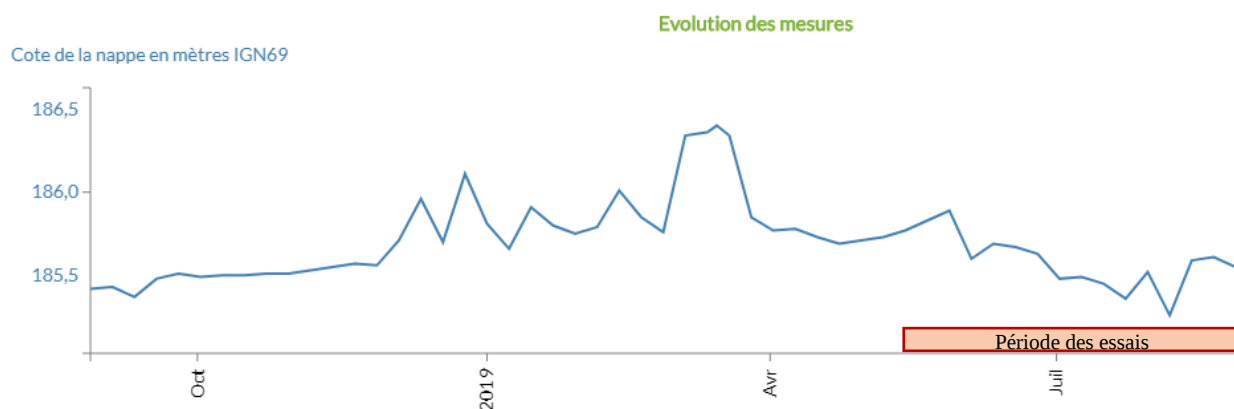


Figure 9 : Evolution de la côte de la nappe d'août 2018 à 2019 (données disponibles au 18/10/19, source : APRONA).

Il est également intéressant de noter, que la tendance de la côte de la nappe, ces 20 dernières années, est à la baisse. Ce constat pourrait signifier que le réseau d'assainissement sur le secteur de Horbourg-Wihr, baignerait moins dans la nappe ou sur de plus courtes périodes (Figure 10).

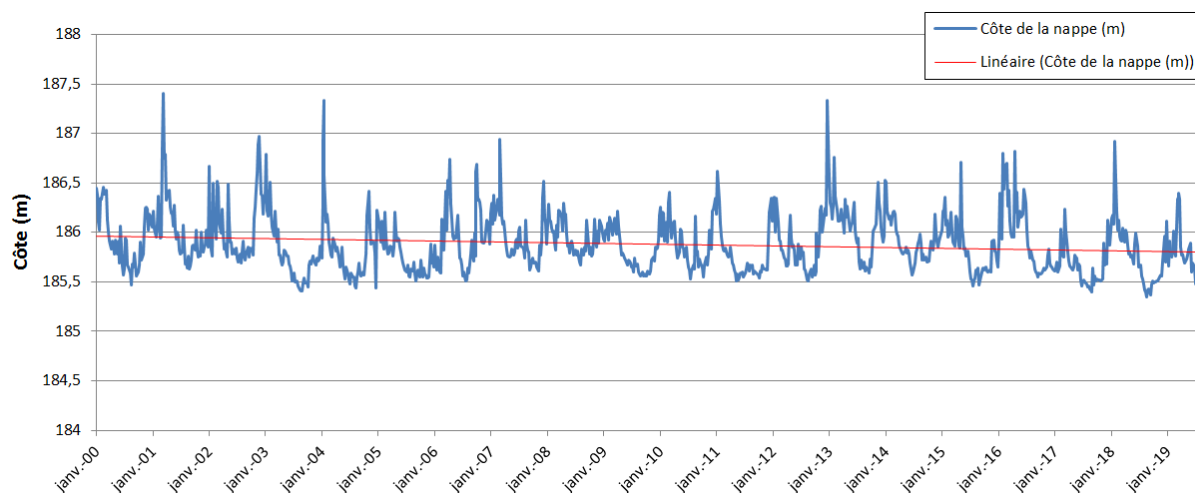


Figure 10 : Evolution du niveau de la nappe entre 2000 et 2019 (source : APRONA).

4.1.4. Pluviométrie

Les mesures ci-dessous (Figure 11) représentent la pluviométrie journalière des mois de juin à août 2019. Elles sont issues des données de Météo France, station de l'INRA à Colmar.

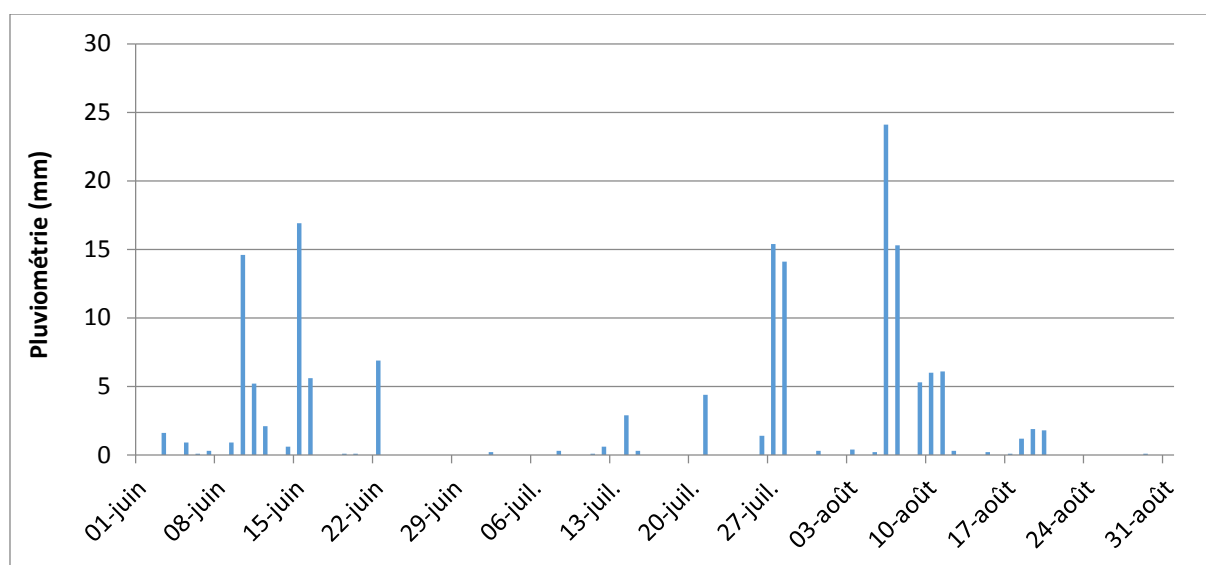


Figure 11 : Données de pluie provenant de la station de l'INRA à Colmar (source : Météo France).

4.2. Sélection des réactifs par Jar-Tests

Les essais jar-tests ont permis de sélectionner deux couples de réactifs présentant les meilleurs résultats sur les étapes de coagulation (déstabilisation des colloïdes – neutralisation des charges) et de floculation (agglomération des micro-flocs).

Le premier couple est composé de réactifs de type biosourcé :

- **HYDREX 6798** : coagulant organique à base de tanin ;
- **EMFLOC KCG750** : flocculant cationique à base d'amidon.

Le second couple est constitué de réactifs de synthèse :

- **VTA Combifloc HB 52-65** : coagulant à haute basicité, avec présence d'aluminium, compatible pour les traitements de l'eau potable ;
- **VTA DW303** : floculant anionique, polyacrylamide.

Ces combinaisons sont issues d'un panel de **4 coagulants et de 14 floculants biosourcés** ainsi que de **2 coagulants et de 15 floculants de synthèse** (ANNEXE 3). Il n'est présenté ici, que les résultats des jar-tests pour les couples de réactifs cités précédemment.

En complément, des essais de filtrations sur filtre à café ont été effectués sur les meilleurs jar-tests (Photo 20). L'intérêt de ces essais était d'obtenir des premières indications sur le processus de filtration après l'étape de coagulation-floculation. Et enfin, pour s'assurer de la proportionnalité entre les concentrations de réactifs à injecter et la charge massique de l'effluent, des jar-tests ont été effectués à partir d'effluent dilué à différents taux.



Photo 20 : Filtration sur filtre à café

Ainsi, les principales problématiques auxquelles doivent répondre ces jar-tests sont :

- Pour chaque couple de réactifs, comment évolue la turbidité du surnageant en fonction de différentes concentrations de coagulant et floculant ?
- La filtration après l'étape de coagulation-floculation fait-elle abaisser la turbidité de l'effluent ?
- Qu'en est-il du colmatage du filtre selon les différents dosages de réactifs ?
- Les couples de réactifs biosourcés permettent-ils d'obtenir une turbidité finale plus basse et de diminuer le colmatage du filtre par rapport à des réactifs de synthèse ?

La finalité sera de trouver le meilleur compromis entre les doses de réactifs à injecter, le colmatage du filtre et le rendement épuratoire suite aux étapes de coagulation-floculation et de filtration.

4.2.1. Les réactifs biosourcés

Effluent d'Horbourg-Wihr

La formation des floccs est plus distincte et leur taille plus importante avec l'accroissement des doses de floculant (Photo 21).

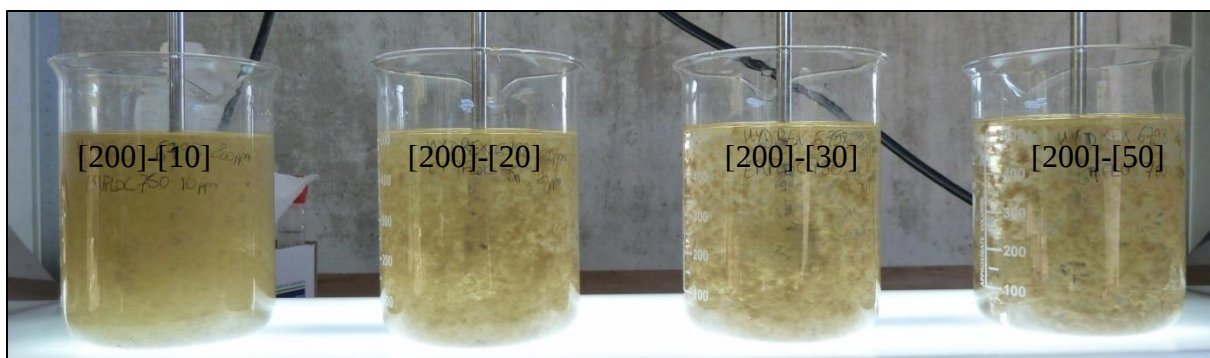


Photo 21 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).

A ce stade, des différences de turbidité du surnageant sont déjà notables entre les béchers (Photo 22). La décantation s'avère être plus lente pour les béchers possédant les plus faibles concentrations en floculant (10 mg/L).

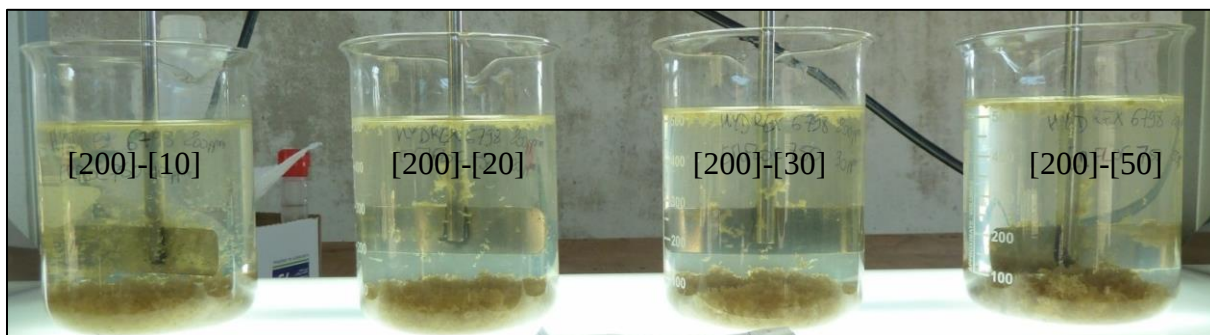


Photo 22 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) puis décantation (1min sans agitation) avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).

L'augmentation des doses de coagulant améliore la turbidité du surnageant (Figure 12). Une concentration de 50 mg/L de flocculant accroît la turbidité du filtrat vis-à-vis de celle du surnageant. De faibles doses de réactifs, engendrent une élévation de la turbidité des surnageants et un colmatage accéléré du filtre.

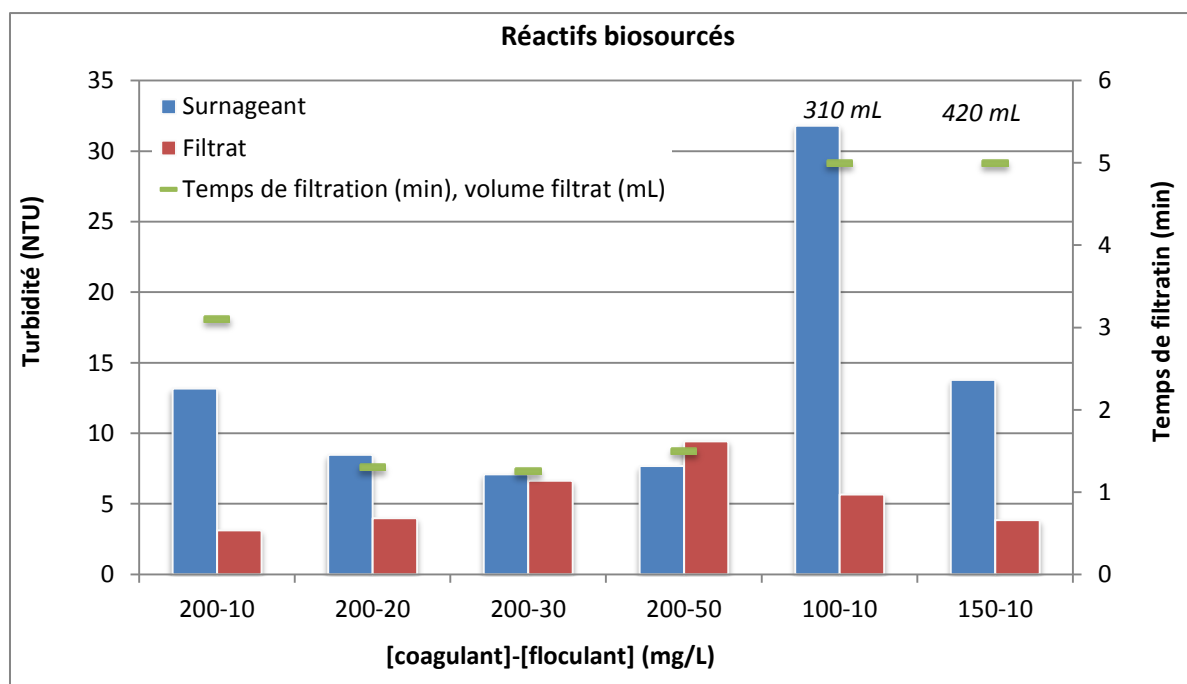


Figure 12 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, pour le couple de réactifs HYDREX 6798-EMFLOC KCG750 et à des concentrations de coagulant et de flocculant différentes.

La combinaison la plus adaptée en termes de turbidité et de colmatage du filtre, pour les effluents d'Horbourg-Wihr est :

HYDREX 6798 (200 mg/L) + EMFLOC KCG750 (10 à 20 mg/L)

Effluent de Wihr

La taille et la tenue des floccs s'amenuisent avec la diminution des doses de réactifs pour l'effluent de Wihr (Photo 23). Les surnageants de l'ensemble des béciers affichent une assez bonne limpidité, des petits floccs restent néanmoins en suspension après 1 min sans agitation (Photo 24).

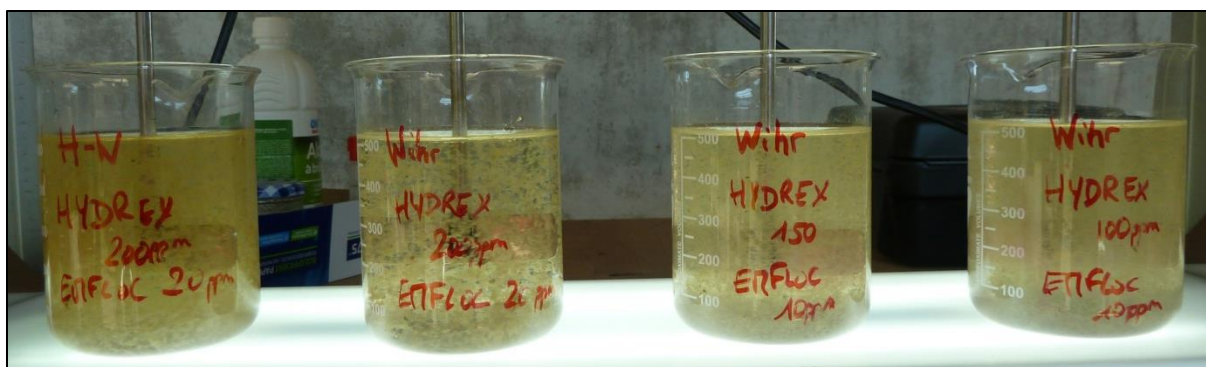


Photo 23 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) encore sous agitation avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 200-20 (H-W), 200-20 (Wihr), 150-10 (Wihr), 100-10 (Wihr).

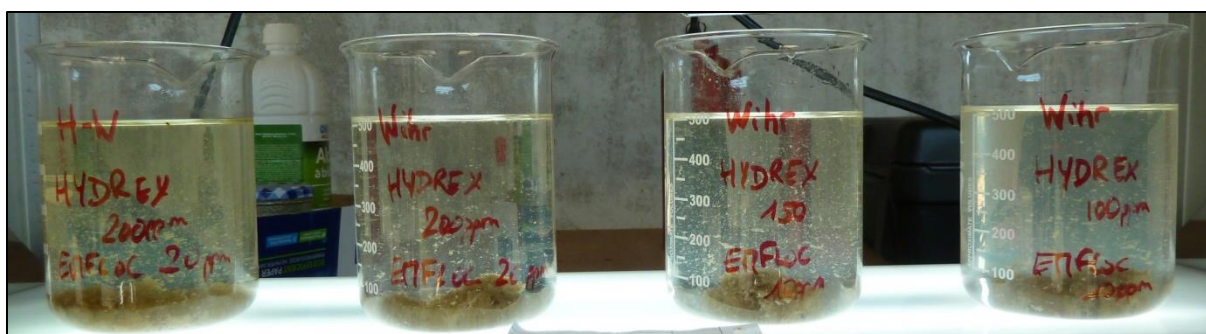


Photo 24 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation HYDREX 6798-EMFLOC KCG750 puis décantation (5min sans agitation) avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 200-20 (H-W), 200-20 (Wihr), 150-10 (Wihr), 100-10 (Wihr).

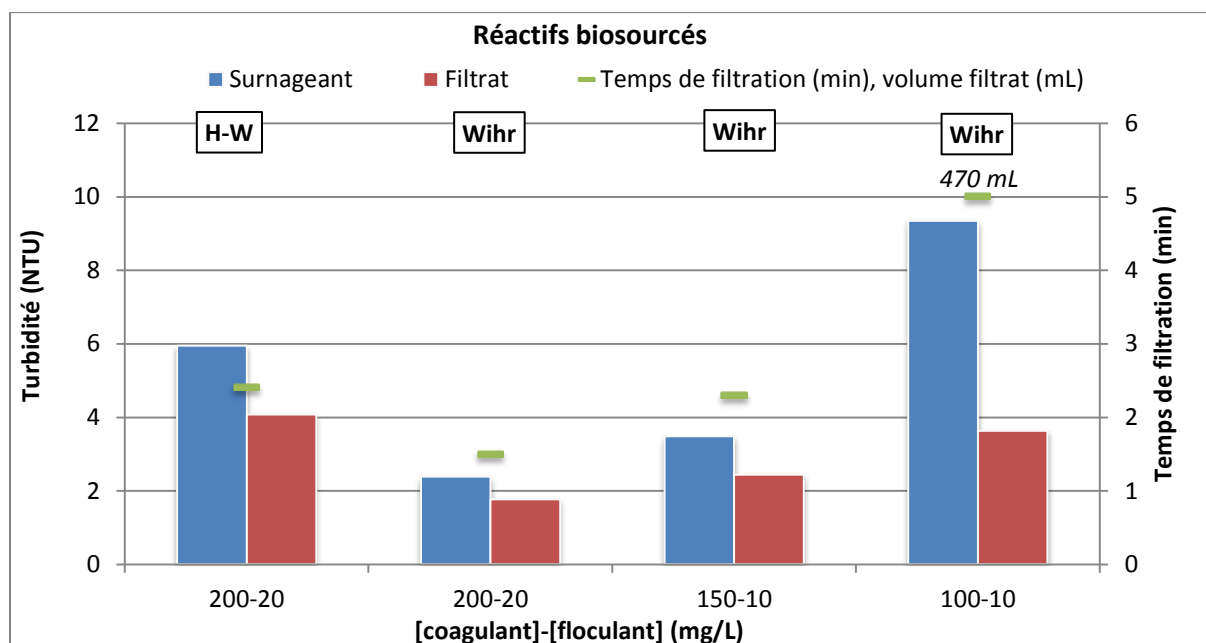


Figure 13 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, à différentes concentrations de coagulant et floculant pour les effluents de Horbourg-Wihr et Wihr.

Les concentrations de réactifs peuvent être diminuées à 150 mg/L pour le coagulant et à 10 mg/L pour le floculant, pour l'effluent de Wihr, tout en maintenant des turbidités inférieures à

10 NTU (Figure 13). Cette combinaison de réactifs limite le colmatage du filtre, toutefois la baisse des dosages en réactifs réduit la taille des floccs, ce qui accélère le colmatage du filtre.

La combinaison la plus adaptée en termes de turbidité et de colmatage du filtre, pour les effluents de Wihr est :

HYDREX 6798 (150 mg/L) + EMFLOC KCG750 (10 mg/L)

4.2.2. Les réactifs de synthèse

Effluent d'Horbourg-Wihr

Les floccs apparaissent de taille plus importante et présente une meilleure tenue pour les doses de flocculant les plus élevées (Photo 25 et Photo 26). La grosseur des floccs influe sur la vitesse de décantation. Plus l'agglomération des floccs est importante plus le temps de décantation sera court (< 30s).

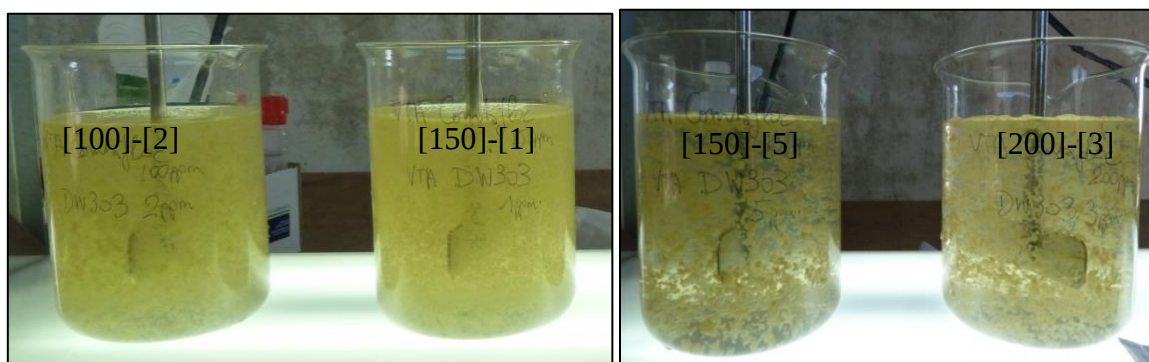


Photo 25 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).

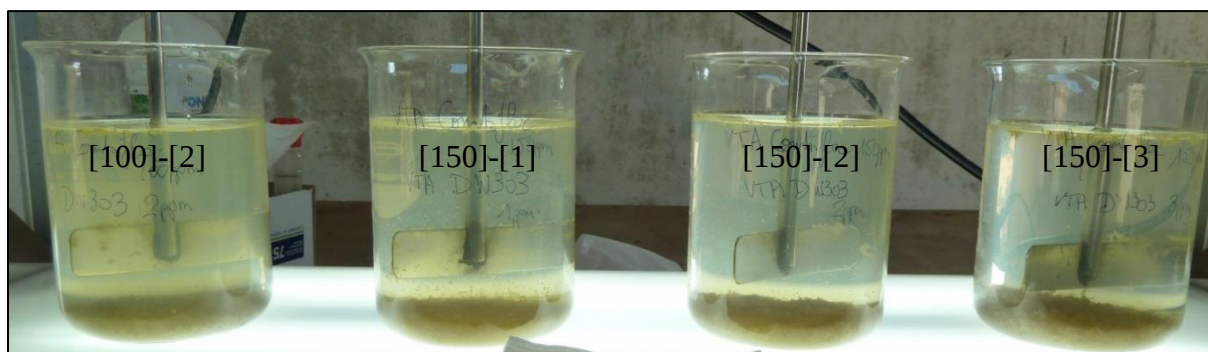


Photo 26 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) puis décantation (5min sans agitation) avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).

L'augmentation des doses de coagulant avec une concentration de flocculant de 2 à 3 mg/L diminue la turbidité du surnageant (Figure 14). La filtration abaisse la turbidité seulement pour les plus faibles concentrations de réactifs (100-150 mg/L de coagulant et 1 à 3 mg/L de flocculant). Les plus fortes concentrations de réactifs présentent les meilleurs résultats au niveau de la turbidité mais rendent l'étape de filtration inutile, en termes de bénéfices sur la turbidité.

De plus, le graphe de la Figure 14 montre clairement un colmatage du filtre accentué avec ces réactifs de synthèse, quelques soit les concentrations. En effet, aucune des solutions présentes dans les béchers ne traversera le filtre à café en moins de 5 minutes.

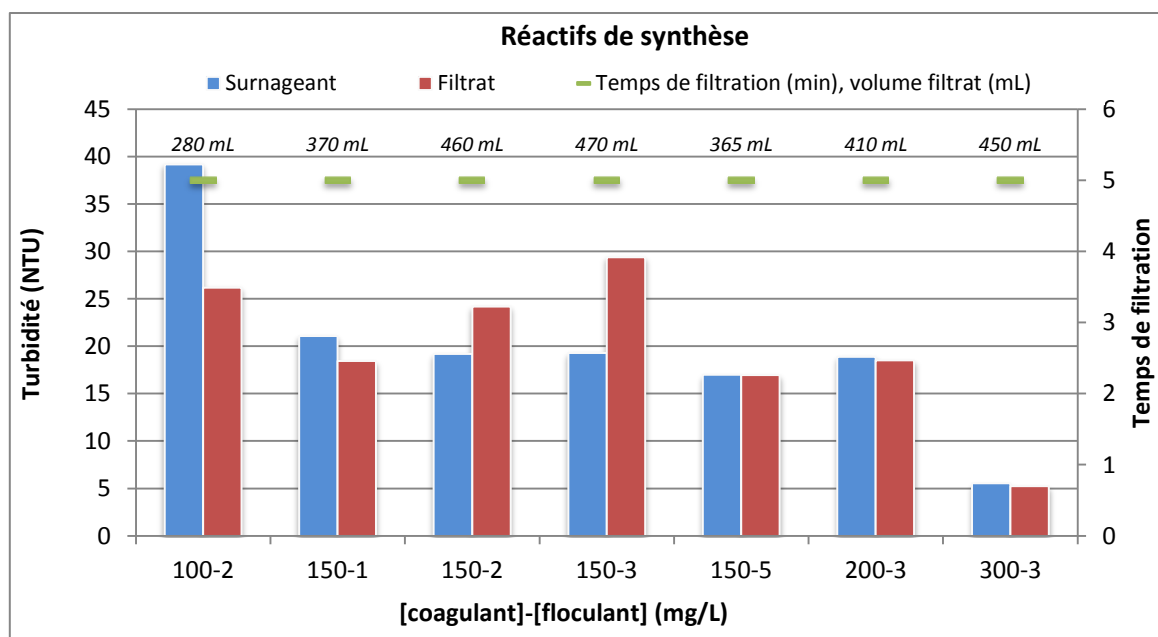


Figure 14 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation et indication de la durée de filtration, pour le couple de réactifs (VTA Combifloc-VTA DW303) et à des concentrations de coagulant et floculant différentes.

La combinaison la plus adaptée en termes de turbidité et de colmatage du filtre, pour les effluents de Horbourg-Wihr est :

VTA Combifloc (150 mg/L) + VTA DW303 (2 à 3 mg/L)

Effluent de Wihr

La diminution des doses de réactifs pour les béchers contenant l'effluent de Wihr entraîne une réduction de la taille des floes (Photo 27).

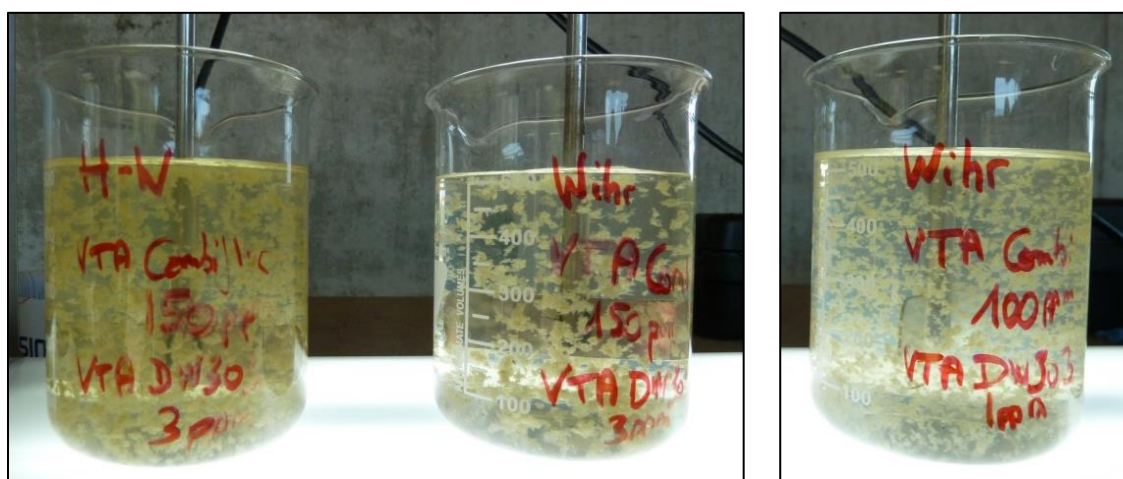


Photo 27 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 150-3 (H-W), 150-3 (Wihr), 100-2 (Wihr).

Les surnageants sont dépourvus de floes en suspension après l'arrêt de l'agitation, néanmoins un trouble persiste (Photo 28).



Photo 28 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation VTA Combifloc-VTA DW303 puis décantation (1min sans agitation) avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 100-2 (Wihr), 50-2 (Wihr).

Les doses de coagulant peuvent être divisées par trois entre l'effluent de Horbourg-Wihr et de Wihr, tout en maintenant des turbidités inférieures à 20 NTU (Figure 15). Cette combinaison de réactifs engendre toujours le colmatage du filtre même à des concentrations plus faibles de coagulant et de floculant.

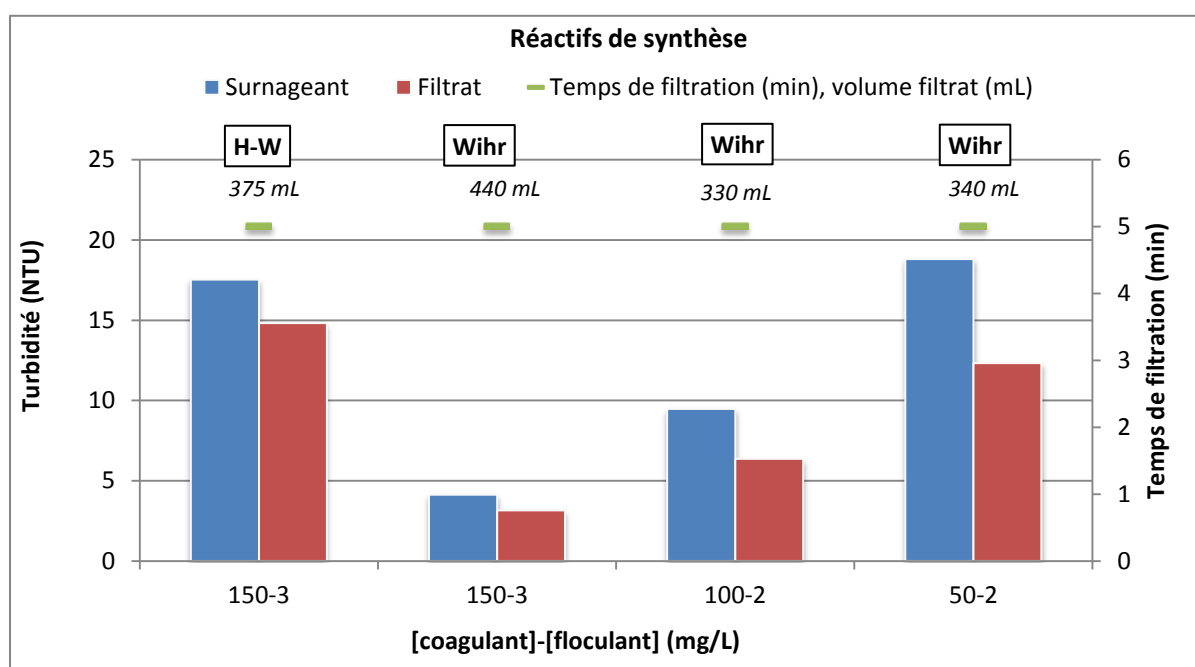


Figure 15 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, à différentes concentrations de coagulant et floculant pour les effluents de Horbourg-Wihr et Wihr.

La combinaison la plus adaptée en termes de turbidité et de colmatage du filtre, pour les effluents de Wihr est :

VTA Combifloc (100 mg/L) + VTA DW303 (2 mg/L)

En comparaison avec les réactifs biosourcés, ce couple de réactifs de synthèse présente :

- Un colmatage du filtre plus important ;
- Une turbidité des surnageants et des filtrats sont plus élevées ;

- Une taille de floccs plus importante et une meilleure tenue ;
- Des concentrations de réactifs plus faibles.

4.2.3. Analyses physico-chimiques sur les surnageants

Les analyses physico-chimiques des surnageants des meilleurs jar-tests ont été réalisées dans le but d'avoir des premières valeurs indicatives vis-à-vis de l'Arrêté du 21.07.2015 mais également d'avoir des éléments de comparaison supplémentaires entre les réactifs biosourcés et les réactifs de synthèse.

Les graphes ci-après, représentent les résultats (concentration et rendement) des analyses physico-chimiques des surnageants à l'issu des jar-tests pour les effluents de HORBOURG-WIHR et de WIHR et pour les paramètres suivants :

- Demande Chimique en Oxygène (Figure 17 et Figure 18) ;
- Matières En Suspension (Figure 19 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ;
- Demande Biologique en Oxygène (ANNEXE 4) ;
- Azote Total Kjeldahl (ANNEXE 4) ;
- Phosphore total (ANNEXE 4).

Sur les graphiques sont indiquées les valeurs seuils figurant dans l'Arrêté du 21.07.2015 (Figure 16) relatif aux systèmes d'assainissement collectif. Ces valeurs seuils sont évolutives selon la charge brute de pollution organique reçue par la station, celles-ci s'expriment en kg/jour de DBO₅. Ainsi, Horbourg-Wihr équivaut à une charge d'un peu plus de 400 kg/jour de DBO₅ et Wihr à une charge d'environ 70 kg/jour de DBO₅.

PARAMÈTRE	CHARGE BRUTE de pollution organique reçue par la station en kg/j de DBO ₅	CONCENTRATION maximale à respecter, moyenne journalière	RENDEMENT MINIMUM à atteindre, moyenne journalière	CONCENTRATION réductible, moyenne journalière
DBO ₅	< 120 ≥ 120	35 mg (O ₂)/l 25 mg (O ₂)/l	60 % 80 %	70 mg (O ₂)/l 50 mg (O ₂)/l
DCO	< 120 ≥ 120	200 mg (O ₂)/l 125 mg (O ₂)/l	60 % 75 %	400 mg (O ₂)/l 250 mg (O ₂)/l
MES (*)	< 120 ≥ 120	/ 35 mg/l	50 % 90 %	85 mg/l 85 mg/l

REJET EN ZONE SENSIBLE à l'eutrophisation	PARAMÈTRE	CHARGE BRUTE de pollution organique reçue par la station en kg/j de DBO ₅	CONCENTRATION maximale à respecter, moyenne annuelle	RENDEMENT MINIMUM à atteindre, moyenne annuelle
Azote	NGL (1)	> 600 et ≤ 6000 > 6 000	15 mg/l 10 mg/l	70 % 70 %
Phosphore	Ptot	> 600 et ≤ 6 000 > 6 000	2 mg/l 1 mg/l	80 % 80 %

Figure 16 : Concentrations maximales et rendements minimums à respecter pour les paramètres DBO₅, DCO, MES, NGL et Pt (extrait de l'Arrêté du 21.07.2015)

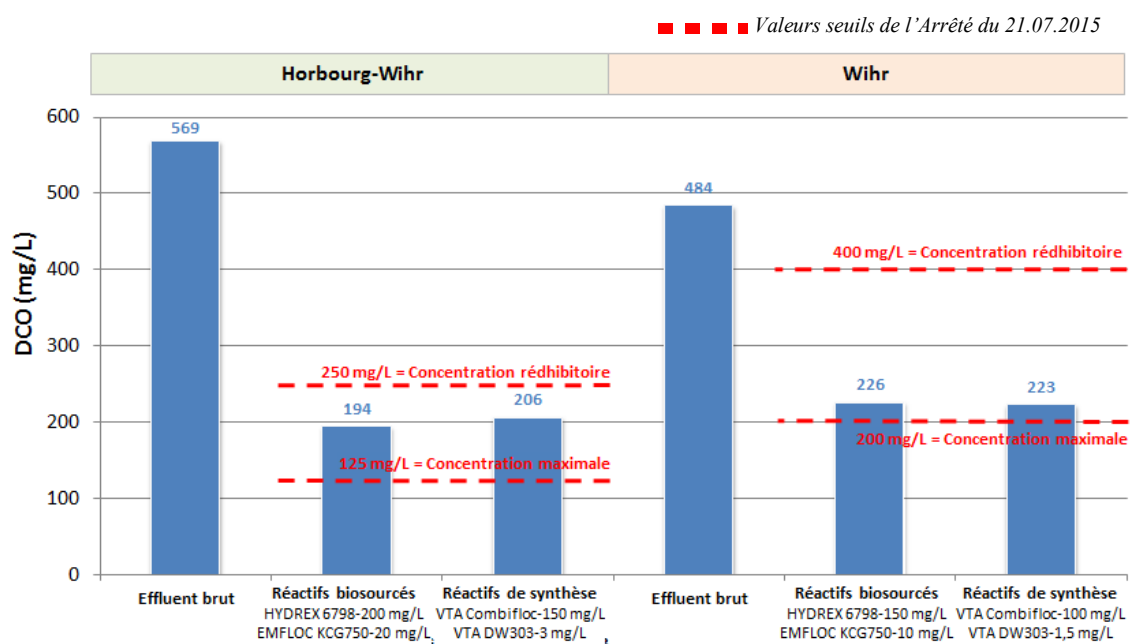


Figure 17 : Demande Chimique en Oxygène de l'effluent brut et des surnageants pour Horbourg-Wihr et Wihr.

Les coagulants et floculants biosourcés ou de synthèse permettent d'obtenir des concentrations de DCO au niveau des surnageants quasiment équivalentes (Figure 17). Ce résultat permet d'obtenir des rendements de l'ordre de 65% pour les effluents de Horbourg-Wihr et de 53% pour les effluents de Wihr (Figure 18). Cette étape de traitement permettrait donc d'approcher les concentrations maximales ou les rendements minimums notamment pour les effluents provenant de Wihr.

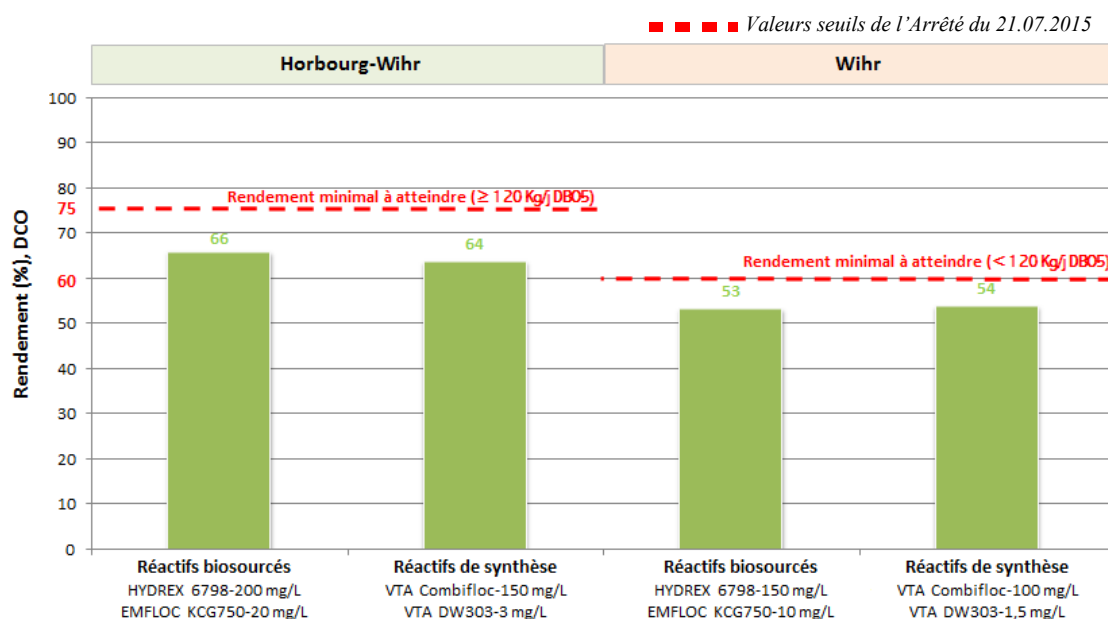


Figure 18 : Rendements obtenus à l'issue des Jar-tests sur les effluents d'Horbourg-Wihr et de Wihr

De la même manière, les résultats entre les deux types de réactifs sont similaires pour les MES (Figure 19 et Figure 20). Pour ce paramètre réglementaire, les concentrations et les rendements sont respectés avec une étape de coagulation-floculation suivie d'une décantation de quelques minutes.

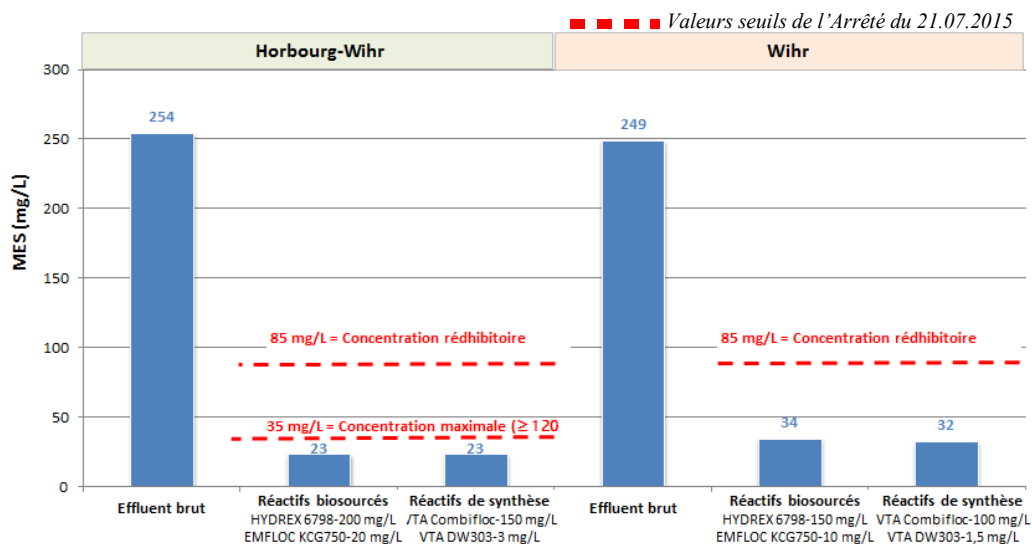


Figure 19 : Matières en suspension de l'effluent brut et des surnageants pour Horbourg-Wihr et Wihr

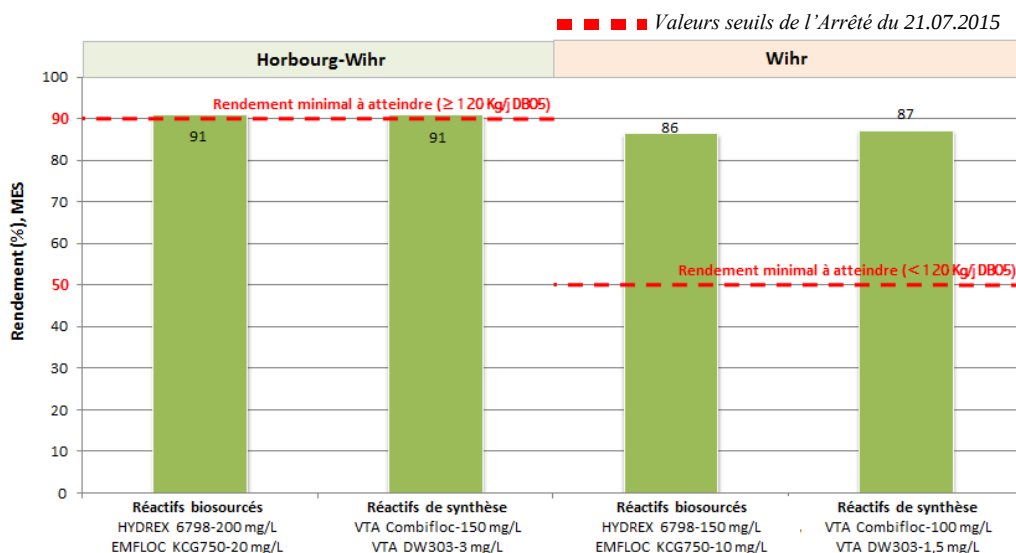


Figure 20 : Rendements obtenus à l'issue des Jar-tests sur les effluents d'Horbourg-Wihr et de Wihr

Les autres paramètres analysés (DBO₅, NTK et Pt), ne permettent pas non plus de sélectionner un couple de réactifs vis-à-vis de son rendement épuratoire sur l'effluent, excepté pour le phosphore total. En effet, les réactifs de synthèse affichent de meilleur rendement (46 à 48%) sur ce paramètre que les réactifs biosourcés (22% à 36%), par la présence de sels d'aluminium.

La comparaison de ces valeurs aux données relevées dans la bibliographie (rendement épuratoire d'un décanteur primaire précédé d'une étape de coagulation-floculation), permet de confirmer et valider le choix de ces deux couples de réactifs. En effet, il est indiqué les ordres de grandeurs suivants (SADOWSKI, 2013) : MES (80 à 90%), DCO (50 à 55%), DBO₅ (55 à 60%), NTK (10 à 20%), Pt (40 à 60%).

4.2.4. Jar-tests à partir d'un effluent dilué (Wihr)

Pour s'assurer de la proportionnalité entre les concentrations de réactifs à injecter et du niveau de dilution de l'effluent, des jar-tests ont été effectués à partir d'effluent dilué à différents taux et ils ont été complétés par des analyses physico-chimiques.

Les taux de dilution appliqués sur l'effluent ont été de 200%, 500% et 800% et les doses de réactifs étaient respectivement de 50, 25 et 20 mg/L pour le coagulant (HYDREX 6798) et de 3, 2 et 1 mg/L pour le floculant (EMFLOC KCG 750).

Les résultats de la DCO et des MES (Figure 21 et Figure 22) confirment cette proportionnalité. **Le traitement d'un effluent dilué par coagulation-floculation nécessitera moins de réactifs.** Les graphiques indiquent également qu'à partir d'un taux de dilution de 245%, l'effluent respecterait, pour le secteur de Wihr, la réglementation liée au niveau de rejet vers le milieu. De plus, les rendements sont décroissants, dès lors que l'effluent brut est dilué.

Les résultats pour le NTK et le Pt figurent en ANNEXE 5.

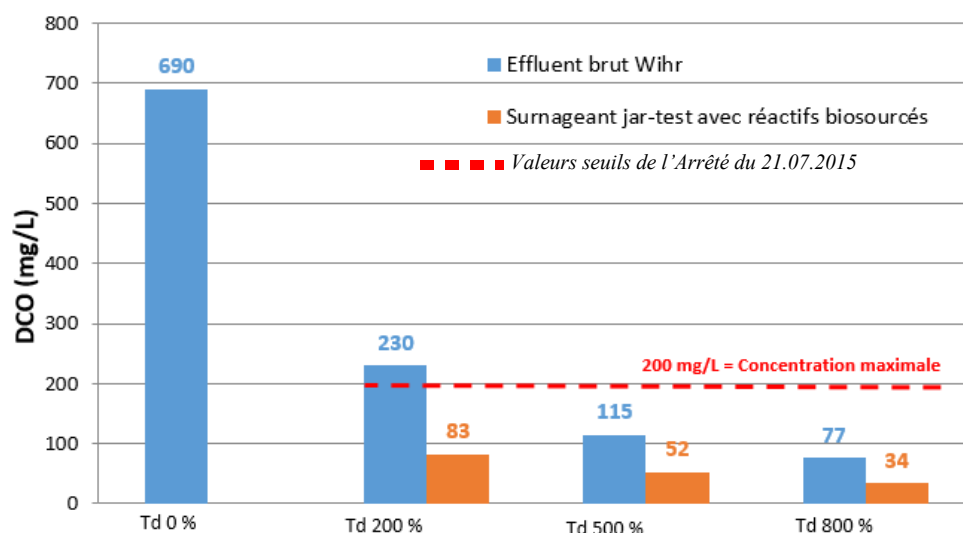


Figure 21 : Demande Chimique en Oxygène sur l'effluent brut à différents taux de dilution et sur les surnageants à la suite de jar-test (réactifs biosourcés).

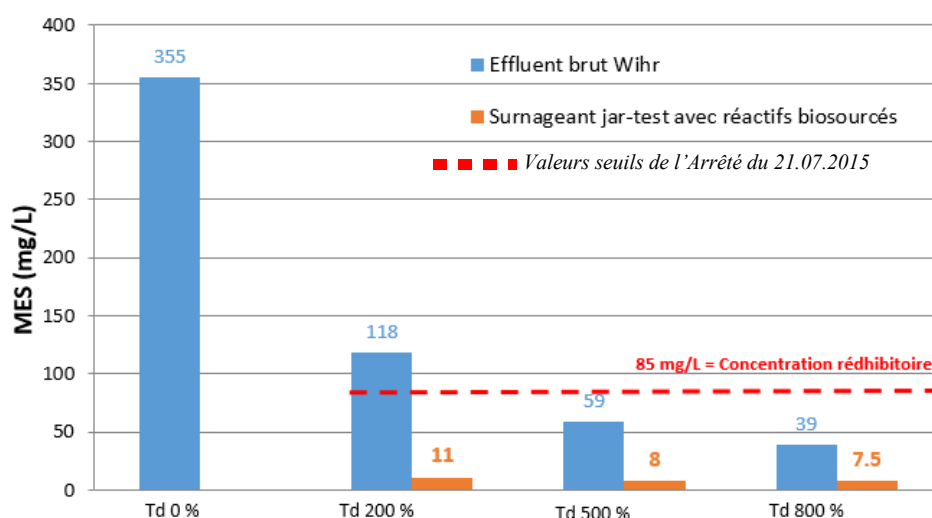


Figure 22 : Matières en suspension sur l'effluent brut à différents taux de dilution et sur les surnageants à la suite de jar-tests (réactifs biosourcés).

4.3. Prise en main et paramétrages du filtre pilote.

Après avoir effectué les différents raccordements hydraulique et électrique, quelques jours ont été nécessaires pour la prise en main et la compréhension du pilote. Le premier objectif était de déterminer la plage de débits sur laquelle les futurs essais pouvaient être menés, en sachant que Mecana indiquait un débit maximum de fonctionnement de $48 \text{ m}^3/\text{h}$.

Les principaux paramètres de réglage, pour le mode automatique, concernaient les cycles de lavage (hauteur d'eau dans la cuve déclenchant le lavage du filtre et durée d'un cycle de lavage) ainsi que l'extraction des boues (durée de l'extraction et entre chaque extraction).

Les paramètres retenus :

- **La hauteur d'eau dans la cuve pour déclencher un cycle de lavage** ne doit pas excéder 10 cm au-dessus du niveau zéro. Au-delà, le décolmatage de la toile ne s'opère pas, les cycles de lavage s'enchaînent, et la hauteur d'eau dans la cuve atteint rapidement la hauteur du trop plein (Figure 23).

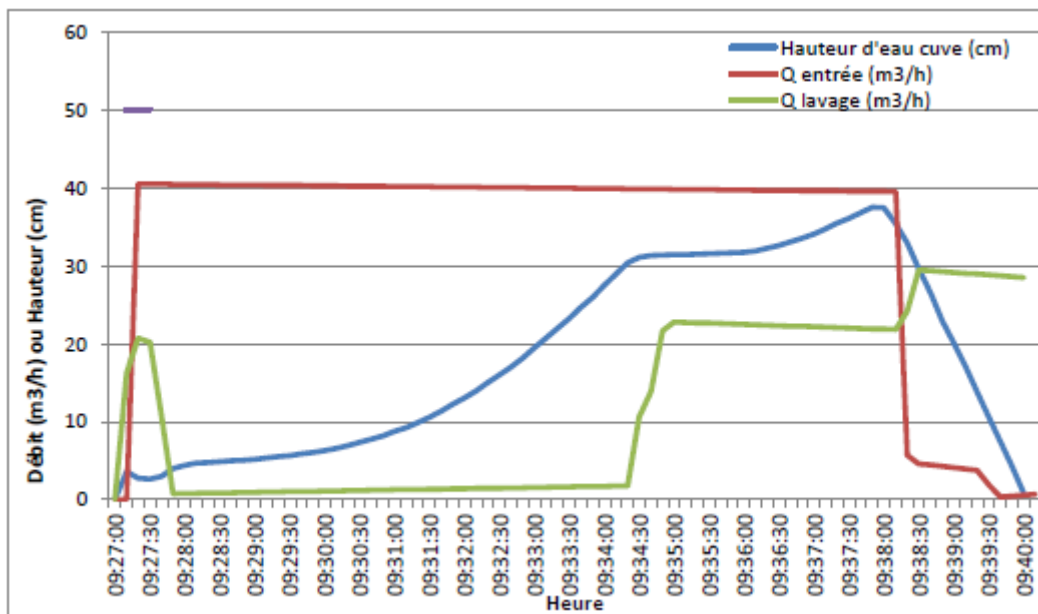


Figure 23 : Données interprétant le dysfonctionnement du filtre pilote dans le processus de lavage.

Ce phénomène s'observait également avec des débits de 30 et $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ce constat proviendrait d'un mauvais contact (pas total) entre l'unité d'aspiration et la toile filtrante sur un filtre tambour (en cause la courbure du tambour). Ainsi, lorsque le niveau d'eaux usées dans la cuve devient trop important, un chemin hydraulique préférentiel apparaît lors de l'aspiration. Les eaux aspirées ne sont plus les eaux filtrées situées à l'intérieur du tambour (flèche bleue sur la Figure 24), mais les eaux usées dans lesquelles est immergé le filtre (flèches rouges sur la Figure 24). A priori, ce phénomène ne se produit pas avec les filtres à disques car l'unité d'aspiration touche la toile sur toute la surface. A noter que si un lavage ne se déclenche pendant une longue période de filtration, un lavage « forcé » s'enclenche au bout de 2h.



Figure 24 : Schéma du dysfonctionnement du filtre lors des cycles de lavage

- **La durée de lavage du filtre** a été fixée à 40s, ce qui laisse le temps au tambour d'effectuer 3 tours complets (1 tour = 11s). Ce paramètre a été déterminé visuellement lorsque les eaux de lavage devenaient claires. La transparence des tuyaux a été très précieuse pour déterminer ce paramètre. La photo ci-après (Photo 29), permet de visualiser les matières retenues sur le filtre.



Photo 29 : Effluent brut (g.), eaux de lavage (milieu), effluent après filtration primaire à 5 µm (d.)

- **Le débit d'alimentation** ne devait pas excéder $35 \text{ m}^3/\text{h}$, soit une charge hydraulique de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$. Le débit de $48 \text{ m}^3/\text{h}$ annoncé initialement par Mecana, concernait la filtration tertiaire et non primaire.
- **L'extraction des boues** a été fixée toutes les 30 minutes et durant 15s. Ces deux critères ont été paramétrés par observations visuelles des cycles.

Le graphe ci-après (Figure 25), représente un fonctionnement correct du filtre en mode automatique. En effet, un cycle de lavage se déclenche dès que la hauteur d'eau atteint 10 cm et un cycle d'extraction des boues intervient toutes les 30 minutes. Le débit d'alimentation était lors de cet essai de $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

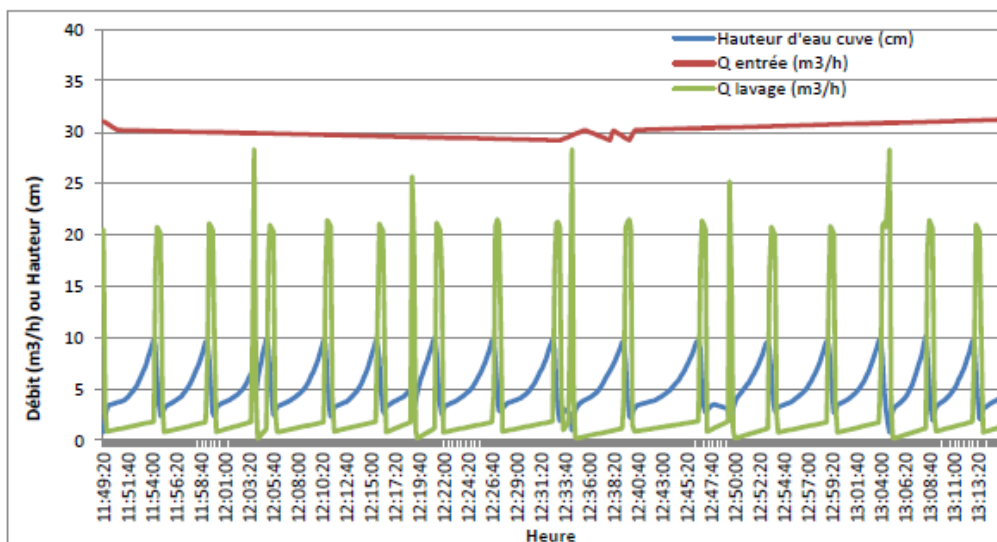


Figure 25 : Extrait de données d'un fonctionnement normal en mode automatique du filtre pilote.

4.4. Essais sur le pilote sans le traitement physico-chimique

Les objectifs de ces essais, sans étape de coagulation-floculation, étaient d'avoir un premier retour d'expérience sur une filtration primaire à 5 μ m et de vérifier la qualité de l'effluent filtré final sur les paramètres de turbidité, de concentrations en DCO et MES.

De plus, des paramètres tels que la charge hydraulique et le rendement hydraulique du filtre étaient également surveillés. Le premier exprime le débit (m³/h) d'effluent par mètre carré de toile filtrante et le second est calculé comme suit :

$$\text{Rendement hydraulique (\%)} = \frac{\text{Volume eaux de lavage} + \text{Volume ext. des boues}}{\text{Volume eaux filtrées}}$$

4.4.1. Sans dilution de l'effluent

Dans cette section, sont présentés les résultats obtenus lors de la filtration primaire seule et sans dilution au préalable de l'effluent.

Les charges hydrauliques superficielles appliquées sur l'appareil de filtration Mecana varient de **3,8 à 9,3 m³/m².h** et ce pour des débits d'alimentation de **15 à 37 m³/h** (Tableau 5). Au-delà, des dysfonctionnements au niveau du filtre apparaissaient, notamment lors du processus de lavage de la toile. Les rendements hydrauliques fluctuent entre **91 et 94 %** pour ce filtre primaire. Cela signifie que pour un débit d'alimentation de 30 m³/h, 2.4 m³/h seront utilisés pour le décolmatage de la toile et l'extraction des boues. Les écarts de rendements hydrauliques d'un essai à l'autre peuvent s'expliquer par la variabilité au niveau de l'effluent d'entrée. En effet, un effluent moins turbide (exemple du 22 octobre 2019, Tableau 5) colmatara moins rapidement la toile filtrante.

Tableau 5 : Données issues des essais sur le filtre pilote sans traitement physico-chimique.

Date	Unités	29/08	21/08	22/08	29/08	10/09	22/08	07/10	22/10	
Durée de l'essai	hh:mm:ss	1h04	1h26	1h53	1h31	2h	1h30	3h	1h	
Pluviométrie	mm/m ²	0.1	0	0	0.1	-	0	-	-	
MES entrée	mg/L	-	325	-	-	-	-	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	190	218	185	190	181	185	250	68	
MECANA										
Débit alimentation filtre	m ³ /h	37	30	30	30	30	20	15	30	
MES sortie	mg/L	-	100	-	-	-	-	-	-	
Turbidité sortie	NTU	115	112	108	109	73-101	108	97	19-23	
Durée entre les cycles de lavage	mm:ss	3min39	5min35	6min11	5min24	5min41	11min53	16min	7min57	
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	9.3	7.5	7.5	7.5	7.5	5	3.8	7.5	
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	9%	8%	7%	9%	8%	7%	7%	6%	
Rendement hydraulique	%	91%	92%	93%	91%	92%	93%	93%	94%	
Charge massique appliquée	kgMES/m ² .h	-	2.4	-	-	-	-	-		
Charge massique retenue	kgMES/m ² .h	-	1.7	-	-	-	-	-		
Rendement massique	%	-	69%	-	-	-	-	-		

Les mesures de turbidités de l'effluent en entrée varient de 181 à 250 NTU pour des turbidités sur l'effluent filtré variant de 73 à 115 NTU (Photo 30). **Une forte turbidité de l'effluent en entrée engendrera une élévation des turbidités en sortie de filtre et inversement** lorsque l'effluent en entrée est moins trouble. On note également que **les turbidités en sortie de filtre évoluent sinusoïdalement**. En fin de filtration, où le colmatage de la toile est le plus important, les turbidités sont les plus faibles. Les particules retenues sur la toile réduisent la maille de filtration. Lorsque ces matières accumulées sont éliminées lors des lavages, les mailles de la toile sont réouvertes et laissent passer à nouveau des particules de l'ordre de quelques microns.

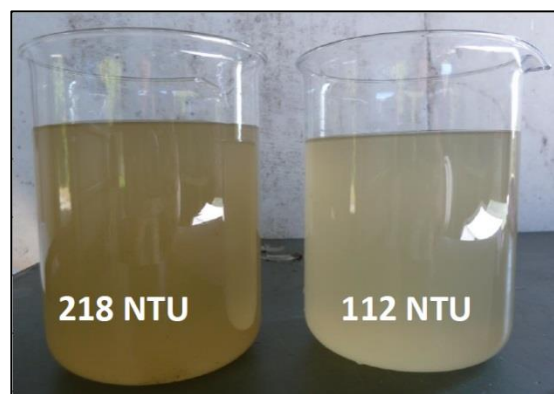


Photo 30 : Effluent brut (g.) et effluent après une filtration à 5 μ m (d.)

La turbidité résiduelle après filtration, correspond plus spécifiquement à la fraction colloïdale (diamètre inférieur à 5 μ m). Cette part de pollution pourra être retenue grâce à une coagulation-floculation préalable à la filtration. Une fois agglomérés, les colloïdes pourront alors être retenus par la toile.

4.4.2. Avec dilution de l'effluent

Comme indiqué précédemment, les essais se sont déroulés en période de nappe basse. Afin de simuler un effluent en période de nappe haute, l'effluent brut a été dilué avec de l'eau de nappe à différents taux (Tableau 6).

Tableau 6 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec dilution de l'effluent au préalable.

Date	Unités	29/08	28/08	10/09	28/08	24/09	22/10
Durée de l'essai	hh:mm:ss	50min	2h15	1h30	30min	3h	1h
Pluviométrie	mm/m ²	0.1	0	-	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	145	127	-	-	269	132
Débit eaux usées	m ³ /h	28	18	18	12	12	/
Débit E.C.P	m ³ /h	12	12	12	12	12	/
Taux dilution	%	43%	67%	67%	100%	100%	400%
Turbidité effluent dilué	NTU	-	-	-	-	-	23
MECANA							
Débit alimentation filtre	m ³ /h	40	30	30	24	24	20
Turbidité sortie	NTU	96	61	60-85	63	70	2-6
Durée entre les cycles de lavage	mm:ss	4min33	8min16	6min56	9min35	9min46	20min
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	10	7.5	7.5	6	6	5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	7%	6%	7%	6%	6%	4
Rendement hydraulique	%	93%	94%	93%	94%	94%	96%

L'augmentation des taux de dilution, améliore les rendements hydrauliques du filtre. Un filtre primaire sur un effluent brut dilué voire très dilué s'approche des rendements

hydrauliques d'un filtre tertiaire (95 à 99%). Au vu des turbidités finales, il est intéressant de noter **qu'une filtration à 5 μ m joue toujours un rôle épuratoire, même sur des effluents dilués** (Photo 31).

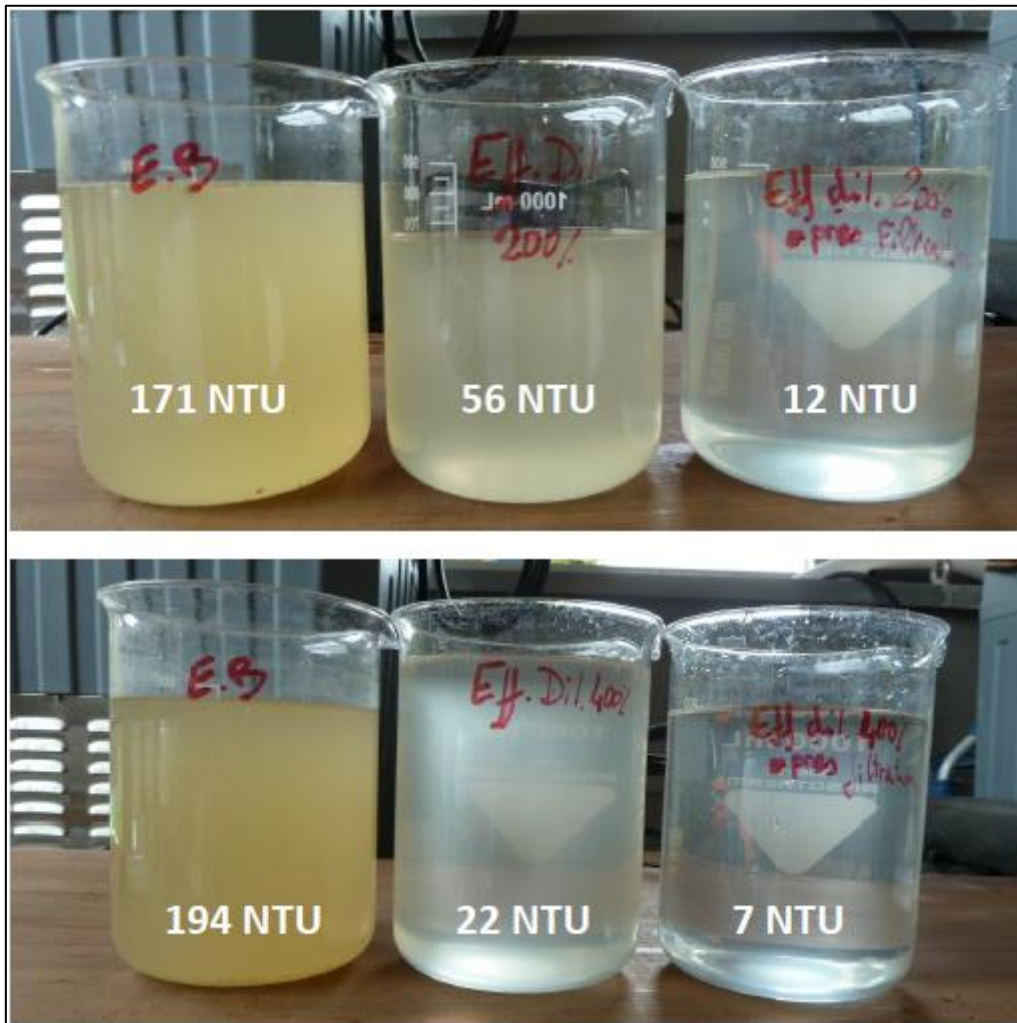


Photo 31 : Effluent brut (g), effluent dilué à 200 et 400% (milieu) et effluent dilué après une filtration à 5 μ m (d).

4.5. Essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés)

Les essais suivants ont consisté à intégrer une étape de coagulation-floculant en amont de la filtration primaire.

4.5.1. Avec le coagulant seul

Les premiers essais se sont déroulés avec l'emploi du coagulant seul. En effet, les jar-tests ont montré que le coagulant permettait d'obtenir des agglomérats fins. Par la suite, des doses croissantes de floculant ont été intégrées.

L'ajout de la coagulation améliore nettement les turbidités de l'effluent filtré (Tableau 7). La contrepartie est la **diminution du rendement hydraulique de 60 à 77%**. Grâce à la

coagulation, une part plus importante de pollution sera retenue sur la toile filtrante. Son colmatage est donc accéléré et les fréquences de lavages augmentées.

Tableau 7 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec coagulation préalable.

Date	Unités	02/10	09/10	14/10	02/10	09/10	14/10
Durée de l'essai	hh:mm:ss	1h	40min	45min	30min	30min	45min
Pluviométrie	mm/m ²	-	-	-	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	178	156	211	178	156	211
Débit eaux usées	m ³ /h	20	20	20	20	20	20
COAGULATION-FLOCCULATION							
[coagulant]	mg/L	150	150	150	200	200	200
[floculant]	mg/L	0	0	0	0	0	0
MECANA							
Turbidité sortie	NTU	7 à 17	7 à 24	20 à 25	7 à 15	5 à 10	15 à 20
Durée entre les cycles de lavage	min	1min25	1min37	2min23	1min03	1min59	2min17
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	5	5	5	5	5	5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	33%	31%	23%	40%	26%	24%
Rendement hydraulique		67%	69%	77%	60%	74%	76%

L'augmentation de la concentration de coagulant biosourcé de 150mg/L à 200 mg/L améliore la turbidité en sortie de filtration, notamment si l'on compare les données issues de la même journée. **La dose de 200 mg/L pour l'HYDREX 6798 apparaît être la concentration optimale, comme cela a été défini lors des jar-tests (Photo 32).**

Ces tests ont permis de mettre en évidence, que l'HYDREX 6798 entraînait la formation de mousse en surface de filtre. Cela était particulièrement visible lorsque la solution commerciale était injectée directement. **Une dilution au préalable de la solution commerciale d'HYDREX diminuait cette formation de mousse (Photo 33).**



Photo 32 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).



Photo 33 : Présence de mousse à la surface du filtre. A gauche lorsque la solution commerciale (HYDREX 6798) est injectée pure et à droite lorsqu'elle est injectée après une dilution au préalable.

4.5.2. Concentration de coagulant fixe et doses de floculant croissantes

L'ajout de floculant, s'est donc avéré nécessaire pour améliorer la turbidité finale. La question à présent était de savoir si le floculant améliorerait ou non le rendement hydraulique du filtre.

Tableau 8 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés).

Date	Unités	09/10	09/10	10/09	17/09	09/10	22/10
Durée de l'essai	hh:mm:ss	30min	30min	1h	1h	30min	1h
Pluviométrie	mm/m ²	-	-	-	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	156	156	190	312	156	94
Débit eaux usées	m ³ /h	20	20	30	30	20	30
COAGULATION-FLOCCULATION							
[coagulant]	mg/L	200	200	200	200	200	100
[floculant]	mg/L	5	10	15	15	15	5
MECANA							
Turbidité sortie	NTU	4-8	2-5	4-8	4.6	2-4	2 à 3
Durée entre les cycles de lavage	min	1min18	1min54	1min	45s	2min09	1min37
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	5	5	7.5	7.5	5	7.5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	35%	27%	27%	32%	25%	20%
Rendement hydraulique		65%	73%	73%	68%	75%	80%

L'ajout du floculant, ici le EMFLOC KCG 750, améliore la turbidité en sortie de filtre (Tableau 8, Photo 34). Le floculant joue ainsi son rôle de pontage et évite que les petites particules déstabilisées par le coagulant passent à travers la toile filtrante. Concernant les rendements hydrauliques, ils sont du même ordre de grandeur (65 et 80 %) que ceux obtenus avec le coagulant seul. Les concentrations ont été abaissées pour les essais du 22 octobre 2019 car les effluents étaient moins turbides qu'habituellement. Ce même jour, des essais avec un effluent dilué ont également été menés, cela a permis d'atteindre des rendements hydrauliques de 85%.



Photo 34 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).

Il est intéressant de noter que les fluctuations de turbidités de l'effluent à traiter ont peu d'influence sur les turbidités finales. Néanmoins, un effluent très turbide en entrée (>250 NTU) diminuera le rendement hydraulique du filtre, à doses équivalentes de réactifs. Les écarts de rendement ne sont toutefois que de quelques pourcents. Et enfin, ces rendements hydrauliques sont probablement améliorés par le comportement des flocs formés, dont une part d'entre eux a tendance à flotter à la surface du filtre (Photo 35). Cette accumulation de flocs à la surface évite probablement un colmatage accéléré du filtre.



Photo 35 : A gauche, flottation des flocs et à droite accumulation des flocs à la surface du filtre

Cette dernière observation nécessitera de prévoir pour la future installation, un système d'évacuation de ces flottants ou la mise en place de sprinklers, qui viendront casser cette émulsion en surface. De plus, une alimentation du filtre avec moins de turbulences limiterait la formation de mousse en surface (alimentation du filtre par siphon).

Des tests ont également été réalisés, avec des doses de réactifs correspondant à 50% et 75% des concentrations définies par les jar-tests (ANNEXE 6). Les résultats n'étaient pas satisfaisants au niveau des turbidités finales.

Les concentrations adaptées de réactifs à injecter avant une filtration primaire serait dans ce cas précis, de 200 mg/L (HYDREX 6798) et 10 mg/L (EMFLOC KCG 750). Soit les valeurs indiquées lors des jar-tests.

4.6. Essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs de synthèse)

A titre comparatif, des essais similaires ont été menés à partir de réactifs de synthèse sélectionnée pendant la phase des jar-tests.

4.6.1. Avec le coagulant seul

L'utilisation du coagulant de synthèse seul permet d'obtenir des turbidités en sortie de filtre de **20 à 29 NTU** et des rendements hydrauliques de **60 à 69%** (Tableau 9 et Photo 36). Ces données sont donc moins bonnes que celles mesurées sur les essais avec le coagulant biosourcé. **L'augmentation de la dose de coagulant de 150 à 200 mg/L baisse le rendement hydraulique du filtre et n'améliore pas la turbidité finale.**

Tableau 9 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec coagulation préalable.

Date	Unités	09/10/19	09/10/19	09/10/19
Durée de l'essai	hh:mm:ss	30min	40min	30min
Pluviométrie	mm/m²	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	140	140	140
Débit eaux usées	m³/h	30	20	20
COAGULATION-FLOCCULATION				
[coagulant]	mg/L	150	150	200
[floculant]	mg/L	0.00	0.00	0.00
MECANA				
Turbidité sortie	NTU	20	30	29
Durée entre les cycles de lavage	min	49s	1min33	1min03
Charge hydraulique	m³ /m².h	7.5	5	5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	31%	31%	40%
Rendement hydraulique	%	69%	69%	60%



Photo 36 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).

4.6.2. Concentration de coagulant fixe et doses de flocculant croissantes

A partir de la concentration de coagulant sélectionnée ci-avant (150 mg/L), des doses croissantes de flocculant ont été injectées.

Tableau 10 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec traitement physico-chimique (réactifs de synthèse).

Date	Unités	09/10	14/10	09/10	14/10	14/10	24/09	01/10	09/10
Durée de l'essai	hh:mm:ss	1h30	30min	30min	30min	30min	1h15	1h15	30min
Pluviométrie	mm/m ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbidité effluent brut	NTU	140	144	140	144	144	269	167	140
Débit eaux usées	m ³ /h	20	20	20	20	20	30	20	20
COAGULATION-FLOCCULATION									
[coagulant]	mg/L	150	150	150	150	150	150	150	150
[flocculant]	mg/L	0.50	0.50	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50
MECANA									
Turbidité sortie	NTU	15	12 à 33	6 -20	9 à 35	10 à 50	12	30	7-30
Durée entre les cycles de lavage	min	48s	1min14	3min13	2min21	2min38	20s	2min03	2min38
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	5	5	5	5	5	7.5	5	5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	47%	38%	18%	26%	25%	45%	26%	21%
Rendement hydraulique	%	53%	62%	82%	74%	75%	55%	74%	79%

L'ajout du flocculant, ici le VTA DW303, diminue les turbidités moyennes en sortie de filtre (Tableau 10 et ANNEXE 7). Ces mesures indiquent également une amplitude plus importante des turbidités en sortie de filtre, l'exemple de l'essai du 14/10 avec des turbidités variant de 10 à 50 NTU. **Toutefois, un trouble de l'effluent persiste après filtration (Photo 37), ce qui est moins le cas avec les réactifs biosourcés.**



Photo 37 : Effluent brut (g), effluent coagulé-flocculé (milieu), effluent après filtration (d).

L'injection de flocculant combiné avec le coagulant, améliore le rendement hydraulique du filtre, en particulier pour les concentrations de flocculant de 1 et 1.5 mg/L. Toutefois, on note

des écarts de rendements relativement importants pour des concentrations de réactifs similaires. En effet, à 150 mg/L de coagulant et 1.5 mg/L de flocculant, les rendements hydrauliques du filtre varient de 55 à 79%. Les variations de turbidités en entrée et donc de charge de pollution de l'effluent pourraient expliquer ces fluctuations. Un effluent très turbide (>250 NTU) avec une étape de coagulation-floculation accélère le colmatage du filtre par rapport à un effluent moins turbide (100 à 150 NTU).

4.7. Bilan des analyses physico-chimiques sur le pilote

Pour compléter les résultats présentés ci-avant, des analyses physico-chimiques sur les paramètres de la DCO et des MES ont été effectuées.

Le premier constat est que l'intégration d'une étape de coagulation floculation fait évoluer les rendements de 45 à 65 % pour la DCO et de 69% à 91% pour les MES (Figure 26).

Cette filière de traitement permet de respecter la réglementation (Arrêté 21.07.2015) pour ce dernier paramètre. **Les rendements obtenus grâce aux réactifs biosourcés suivi d'une filtration sont quasiment similaires à ceux des réactifs de synthèse pour les MES. Pour la DCO, les réactifs de synthèse affichent de meilleurs résultats.**

Si l'on compare ces résultats aux données bibliographiques, où il est indiqué qu'un décanteur primaire avec réactifs permet d'atteindre des abattements de l'ordre de **50 à 55% de la DCO et de l'ordre de 80 à 90% des MES** (SADOWSKI, 2013), cette filière de traitement apparaît être optimale vis-à-vis des rendements épuratoires.

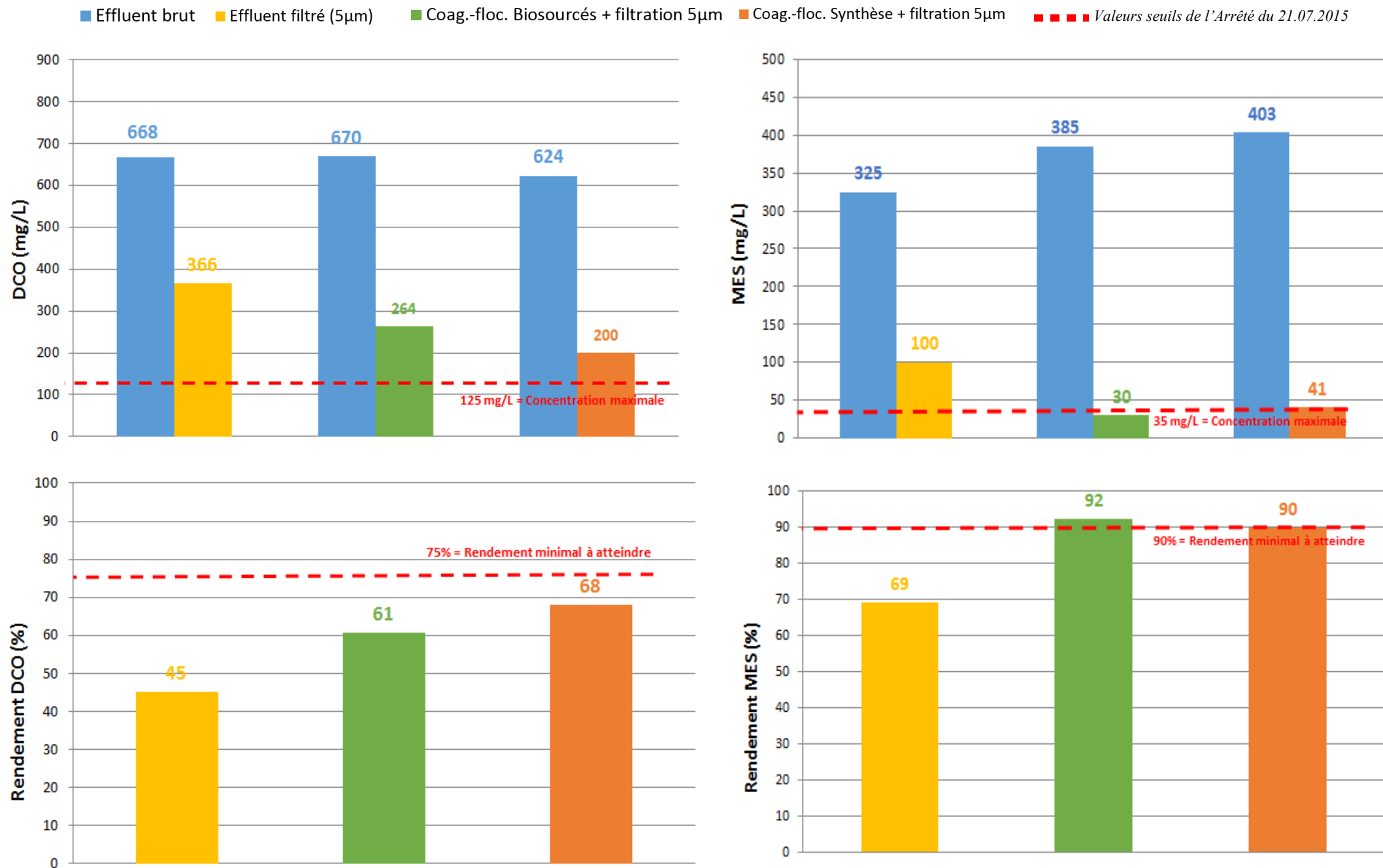


Figure 26 : Concentrations et rendements pour les paramètres de DCO et MES sur l'effluent brut et les effluents filtrés avec et sans traitement physico-chimiques (en rouge les valeurs figurant dans l'Arr. 21.07.2015)

4.8. Essais avec une filtration à deux étages et traitement physico-chimique

Les résultats des essais sur le filtre pilote avec traitement physico-chimique sont satisfaisants sur les paramètres de la DCO, des MES et de la turbidité. Néanmoins, l'ajout d'une étape de coagulation-floculation abaisse les rendements hydrauliques du filtre entre 70 et 80%. Ces taux étant assez médiocres, une filière à deux étages a été simulée pour vérifier l'incidence sur le rendement hydraulique.

La filière envisagée se composait d'une filtration à deux étages en maintenant une étape de traitement physico-chimique intermédiaire, soit :

Effluent brut → Filtration primaire → Coagulation-floculation → Filtration secondaire

Ce dispositif se rapproche de l'installation en cours de construction au lac de Saint-Point, composé d'un filtre à bande (maille 158 μm) suivi d'un filtre avec une toile microfibre (maille 5 μm). Il est intéressant de relever que le nettoyage du filtre est réalisé avec de l'air comprimé, ce qui permet d'obtenir des rendements hydrauliques de l'ordre de 98%.

N'ayant qu'un filtre pilote à disposition, les essais in-situ se sont déroulés ainsi :

1. Pompage des effluents bruts et alimentation du filtre pilote ;
2. Stockage (15m³) des effluents issus de la filtration primaire (Photo 38) ;
3. Pompage de ces effluents filtrés puis passage par l'étape de coagulation-floculation
4. Alimentation du filtre pilote avec l'effluent coagulé et floculé, pour une filtration secondaire.



Photo 38 : Stockage des effluents issus de la première filtration.

Cette nouvelle filière devait permettre de répartir la charge massique appliquée sur les filtres. En effet, une grosse fraction des MES sera retenue sur la première filtration, afin qu'il n'y ait plus que la part colloïdale sous forme de floccs à retenir sur la filtration secondaire.

A noter que de nouveaux jar-tests ont été opérés à partir de l'effluent filtré pour déterminer les nouvelles concentrations de réactifs optimales pour l'étape de coagulation-floculation. Seuls les réactifs biosourcés ont été testés et la meilleure combinaison s'est avérée être :

HYDREX 6798 (100mg/L) + EMFLOC KCG 750 (10mg/L)

Cette filière présenterait donc l'avantage de consommer moins de réactifs que la filière avec un seul étage de filtration.

Tableau 11 : Données issues des essais sur une filtration à deux étages avec traitement physico-chimique.

Date	Unités	10/10/2019	10/10/2019	11/10/2019
Pluviométrie	mm/m ²	oui	non	non
Turbidité effluent	NTU	349	81	221
MECANA 1ère filtration (5µm)				
Débit d'alimentation	m ³ /h	20	20	20
Turbidité sortie	NTU	95 à 106	52 à 59	45 à 102
Durée entre les cycles de lavage	min	2min30	28min	6min13
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	5	5	5
Rendement hydraulique	%	78%	96%	89%
COAGULATION-FLOCULATION				
Réactifs bio ou synthèse	-	biosourcé	biosourcé	biosourcé
[coagulant]	mg/L	100	100	100
[floculant]	mg/L	10	10	10
MECANA 2ème filtration (5µm)				
Durée de l'essai	hh:mm:ss	00:45	00:45	00:45
Débit d'alimentation	m ³ /h	15	15	15
Turbidité sortie	NTU	4 à 7	2 à 6	3 à 5
Durée entre les cycles de lavage	min	3min17s	4min15	3min12
Charge hydraulique	m ³ /m ² .h	5	5	5
Rendement hydraulique	%	77%	85%	79%
Rendement hydraulique final	%	60%	82%	71%

Les rendements hydrauliques finaux sur cette filière ne sont pas améliorés par une double filtration. Ces derniers varient entre 60 et 82% (Tableau 11).

Ceci s'explique par le fait que les deux étages (Mecana primaire et Mecana tertiaire) nécessitent tous deux un lavage pour évacuer en phase liquide les boues retenues et par conséquent les pertes hydrauliques se cumulent au détriment du rendement hydraulique total.

N'ayant pas à disposition pour cette étude une filtration sur toile type Salnes qui dispose elle d'un lavage à l'air (rendement hydraulique quasi 100%), nous n'avons pu tester un prétraitement de ce type (il a cependant été testé sur les essais menés au Lac de Saint Point).

Même si un tel dispositif de filtration sur toile offre un passant bien plus élevé (150 microns = optimum efficacité/robustesse), il peut fonctionner en colmatage partiel et permet une rétention (en l'absence de conditionnement physico-chimique) de l'ordre de 50%.

Le bénéfice d'une filtration à deux étapes est néanmoins démontré sur le deuxième étage de filtration avec **un rendement hydraulique moyen de 80% (simple filtration : 73%)**.

Ainsi, la filière la plus appropriée semble être la suivante :

Filtre à bande (Salsnes -150 μ m) > Coagulation-Floculation > Filtre à disques (Mecana) avec une toile microfibre (5 μ m).

Le rendement hydraulique théorique de cette filière serait d'environ 80%, en sachant qu'il y a peu de pertes d'eau (<2%) avec le filtre à bande Salsnes (nettoyage de la toile avec de l'air comprimé). Il faut également rappeler que ces essais ont été réalisés sans dilution de l'effluent brut. Le rendement hydraulique ne sera qu'amélioré lorsque les taux de dilution augmenteront.

De plus, ces essais montrent clairement l'impact de la nature de l'effluent d'entrée sur les rendements hydrauliques des filtres.

Des effluents très chargés (Photo 39), augmenteront la charge massique appliquée sur le filtre et augmenteront les fréquences de lavage. A l'inverse, des effluents moins chargés (Photo 40), diminueront la charge massique, ce qui permettra d'obtenir un meilleur rendement hydraulique. La question du maintien de la première filtration sur des effluents très dilués peut se poser.

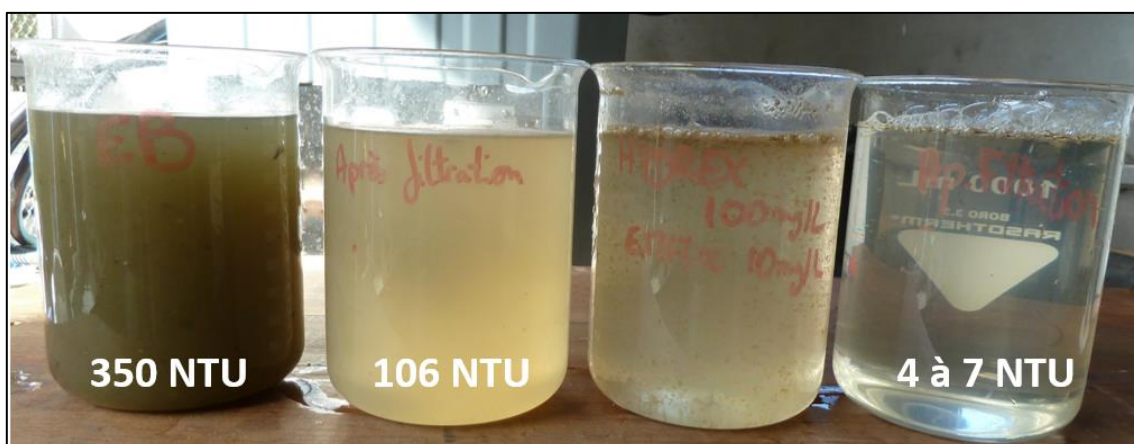


Photo 39 : Effluents bruts en temps de pluie, effluent filtré (5 μ m), effluent coagulé-floculé, effluent seconde filtration (5 μ m), (g. à d.).

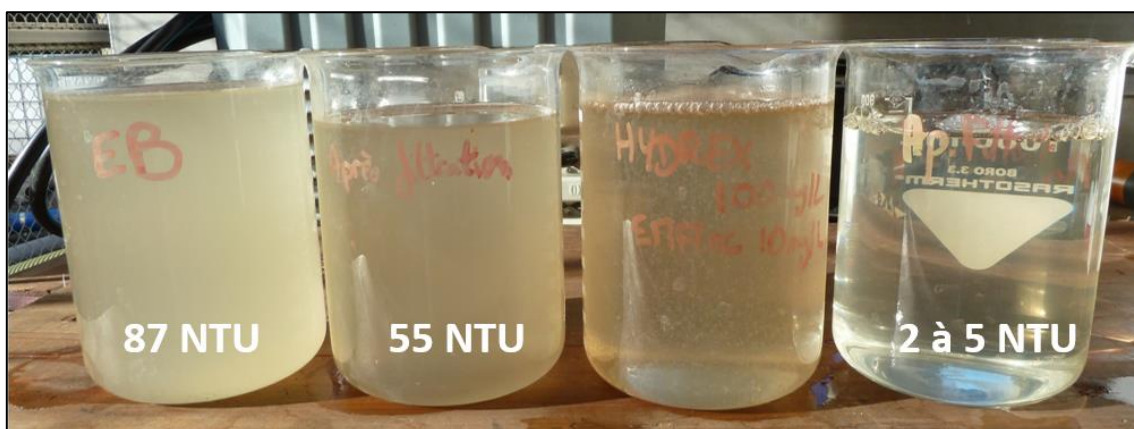


Photo 40 : Effluents bruts quelques heures après une averse, effluent filtré (5 μ m), effluent coagulé-floculé, effluent seconde filtration (5 μ m), (g. à d.).

Il est également intéressant de relever que les turbidités finales sur cette filière sont très satisfaisantes (2 à 7 NTU), d'autant plus que celles-ci restent de même qualité pour une turbidité initiale de l'effluent variant de 87 ou 350 NTU.

Concernant les résultats des analyses physico-chimiques (Figure 27), les concentrations et les rendements finaux respectent l'Arrêté de 2015 pour les MES et s'en approchent pour la DCO.

L'ensemble de ces résultats sont comparables aux résultats obtenus lors d'essais pilotes menés sur une filière similaire au lac de Saint-Point. Cette dernière était constituée d'une filtration primaire (filtre à bandes Salsnes à 158 µm) et d'une filtration secondaire (filtre Mecana à 10 µm) avec un traitement physico-chimique intermédiaire à partir de réactifs biosourcés. En sortie de filière, 27 mg/L de MES (concentration moyenne) et 21 NTU en turbidité moyenne étaient mesurées (SADOWSKI et REGIS-VIERA, 2016).

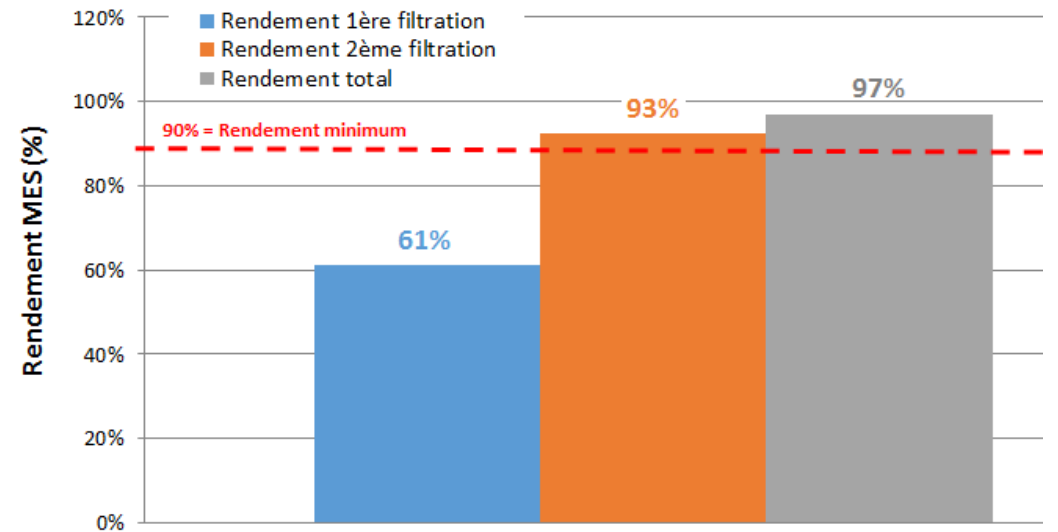
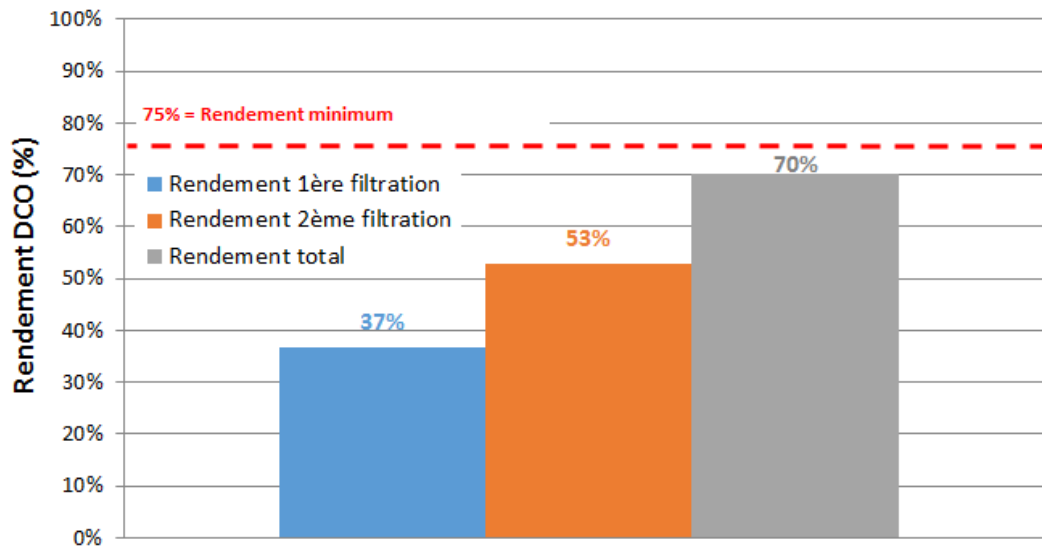
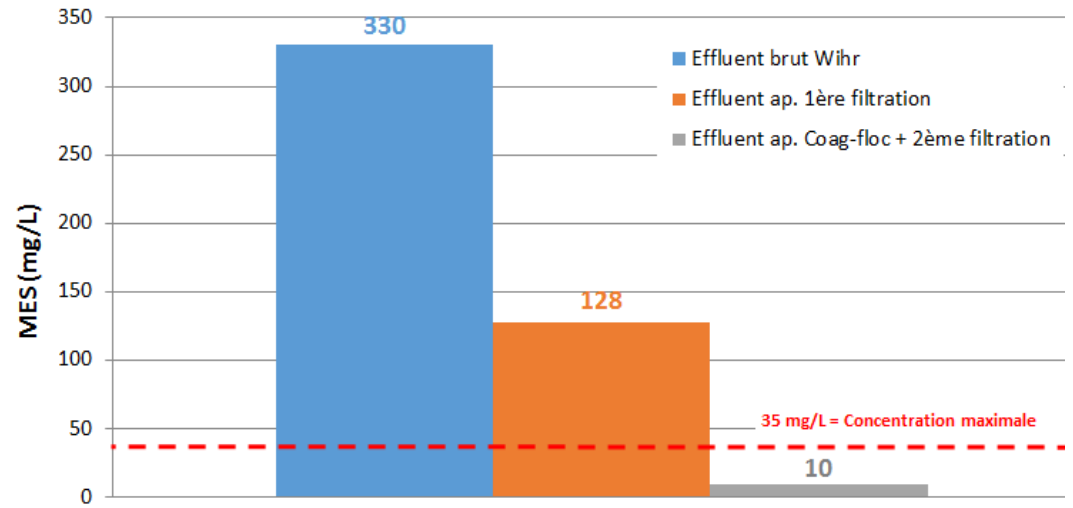
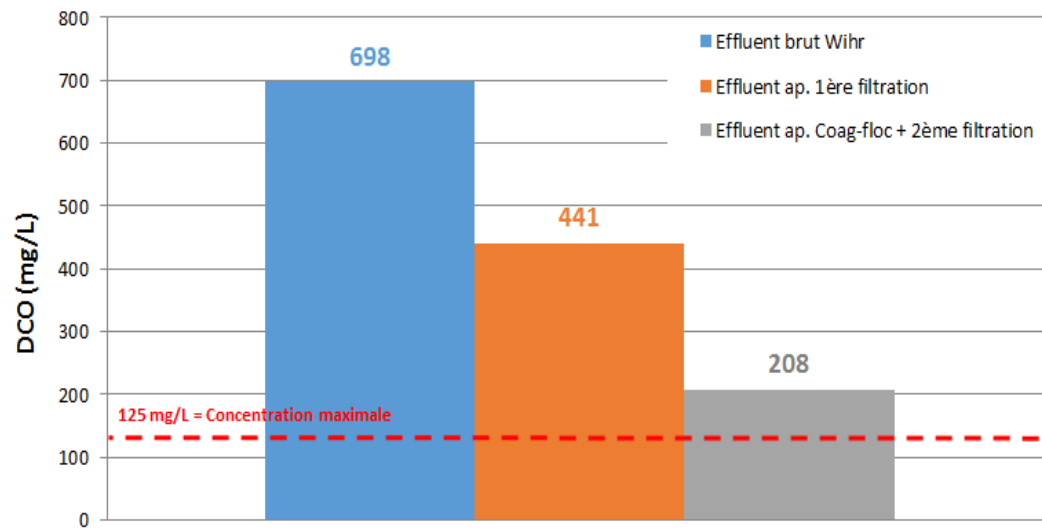


Figure 27 : Concentrations et rendements pour les paramètres de DCO et MES sur l'effluent brut, les effluents après la 1^{ère} filtration et 2nd filtration (en rouge les valeurs figurant dans l'Arr. 21.07.2015)

4.9. Problématiques rencontrées sur l'installation

Lors de la mise en place de l'installation pilote et des différents essais, j'ai été confrontée à plusieurs problèmes techniques, auxquels des solutions ou des réparations étaient rapidement effectuées afin de ne pas perdre de temps dans le déroulement des différents essais.

Pompe d'alimentation

Cette pompe a été surélevée après quelques jours de fonctionnement à cause d'une décantation assez importante au niveau de l'ouvrage en sortie du dégraisseur. Les premiers mètres cubes alimentant le pilote étaient alors très chargés en matières en suspension et venaient ainsi perturber les essais.

De plus, par la mauvaise qualité des pré-traitements sur la station de pompage, cette pompe s'est également obstruée le 01 octobre 2019.

Filtre

La pompe d'extraction des boues s'est également obstruée, le 24 septembre 2019. En effet, de nombreux déchets de type lingette étaient perceptibles dans la cuve de filtration. **D'où la nécessité d'un prétraitement efficace avant cette filtration primaire.**

La recherche des paramètres adaptés, notamment la hauteur d'eau dans la cuve vis-à-vis du bon déroulement des lavages (voir la section - 4.3 Prise en main et paramétrages du filtre pilote.), a également été un point problématique. **En effet, une hauteur d'eau supérieure à 10 cm au-dessus du niveau 0, engendrait des dysfonctionnements au niveau du lavage de la toile filtrante. Un niveau d'eau trop bas dans la cuve entraînait également des problèmes au niveau de la pompe d'aspiration des eaux de lavage, de par la présence d'air.**

Casses tuyaux

Plusieurs casses sont survenues à différents points de l'installation. Notamment, au niveau des branchements à l'eau de nappe (Photo 41) mais également au niveau des tuyaux flexibles en PVC après les postes de coagulation-floculation.



Photo 41 : Casse et fuite au niveau de l'installation pilote

Pompes doseuses

Lorsque les essais avec le traitement physico-chimique ont débuté, il a fallu au préalable réaliser l'étalonnage des pompes doseuses. Cette étape consistait à chronométrer le temps nécessaire pour atteindre le volume souhaité et ce, pour différents réglages des pompes doseuses. Une courbe d'étalonnage était par la suite tracée.

Le protocole appliqué initialement, mesurait les temps et les volumes à la sortie de la pompe doseuse. Or les valeurs enregistrées, étaient aberrantes vis-à-vis des indications techniques figurant sur les notices des pompes.

Le protocole appliqué par la suite, mesurait le temps mis pour qu'un volume donné soit aspiré puis injecté au niveau du mélangeur statique avec un débit de 30 m³/h. Cela permettait d'avoir une contre-pression dans le tuyau de refoulement de la pompe doseuse.

En effet, il s'agissait de pompes doseuses pouvant injecter un liquide dans une canalisation à une pression de 10 bars.

Turbidimètres

Des dysfonctionnements sont rapidement apparus sur le turbidimètre mesurant les turbidités de l'effluent en entrée du filtre pilote. De par son faible diamètre, le tuyau de prélèvement raccordé à l'instrument de mesure s'obstruait rapidement, ce qui perturbait les mesures. Pour combler ce manque de données, des mesures ponctuelles de turbidités étaient réalisées avec un turbidimètre portable.

Enregistrement des données

Plusieurs jours de données n'ont pas été enregistrés, suite à une mauvaise manipulation de la fonction « *Start measure* » du pilote. Toutefois ce manque de données a été comblé par les valeurs relevées manuellement lors des essais comme :

- La durée entre les cycles de lavage ;
- Les turbidités ;
- Les débits d'alimentation.

5. EVALUATION DES PARAMETRES DIMENSIONNELS

Suite aux résultats obtenus durant les essais sur le pilote, les paramètres dimensionnels proposés à chaque étape du traitement sont les suivants :

1- Pré-traitement

- Dégrillage entrefer de 6 mm.
- Dessablage-dégraissage (Photo 42)



Photo 42 : Dégraisseur-dessableur de la station de pompage d'Horbourg-Wihr.

2- Filtration primaire (type Salsnes)

- Maille 150 à 200 μm

Cette filtration est nécessaire pour des effluents avec un faible taux de dilution (<200%). A l'inverse, cette étape n'est pas primordiale lorsque les effluents possèdent des taux de dilution plus importants.

3- Traitement par coagulation-floculation

- Coagulant à base d'aluminium : 150 mg/L
- Coagulant biosourcé (tanin) : 200 mg/L
- Floculant, polyacrylamide : 1 mg/L
- Floculant biosourcé (amidon) : 10 mg/L

Les concentrations indiquées ci-dessus sont à appliquer pour des effluents très peu dilués.

4- Traitement secondaire par un filtre Mecana :

- Charge hydraulique superficielle appliquée : 5 à 7.5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$.
- Charge massique moyenne appliquée : 3 Kg MES/ $\text{m}^2.\text{h}$
- Charge massique moyenne retenue : 2.7 Kg MES/ $\text{m}^2.\text{h}$
- Rendement hydraulique moyen : 73%
-

Points de vigilance et d'amélioration de la filière :

- **Limitier les turbulences au niveau de l'alimentation du filtre Mecana** afin de minimiser la formation de mousse ;
- **Installation de sprinklers ou d'un dispositif d'évacuation des flottants** (flottation des floes avec les réactifs biosourcés) ;
- **Mesure en ligne de la turbidité** sur l'effluent d'entrée afin **d'adapter les doses de réactifs**. Le graphe (Figure 28) souligne une relation linéaire entre la turbidité et la concentration en MES de l'effluent ;

- Stockage du floculant biosourcé (amidon) dans un endroit chauffé ;

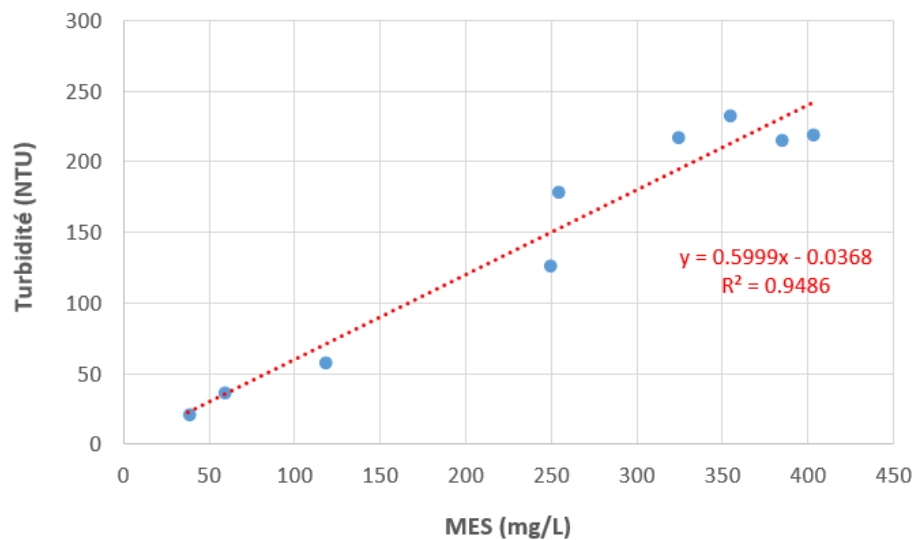


Figure 28 : Turbidité de l'effluent en fonction de la concentration en MES.

De plus, ces mesures de turbidités pourraient également servir à adapter la future filière en fonction de la charge massique des effluents excédentaires provenant de Wihr. La consommation de réactifs pour des effluents très dilués, respectant les concentrations de l'Arrêté 21.07.2015 ($<120 \text{ kg/j DBO}_5$) n'apparaît pas être un choix judicieux de filière, vis-à-vis du coût des réactifs. **C'est pourquoi, il pourrait être envisagé qu'à partir d'une turbidité de 50 NTU ($\approx 85 \text{ mg/L}$ de MES), l'effluent soit directement envoyé sur le filtre Mecana avec une maille à $5\mu\text{m}$, zone en vert sur le graphe (Figure 29).** Si la turbidité de l'effluent en entrée excède 50 NTU et par conséquent 85 mg/L (zone en orange sur le graphe, Figure 29) alors la filière serait :

Filtration primaire ($150\mu\text{m}$) > Coagulation floculation > Filtration secondaire ($5\mu\text{m}$)

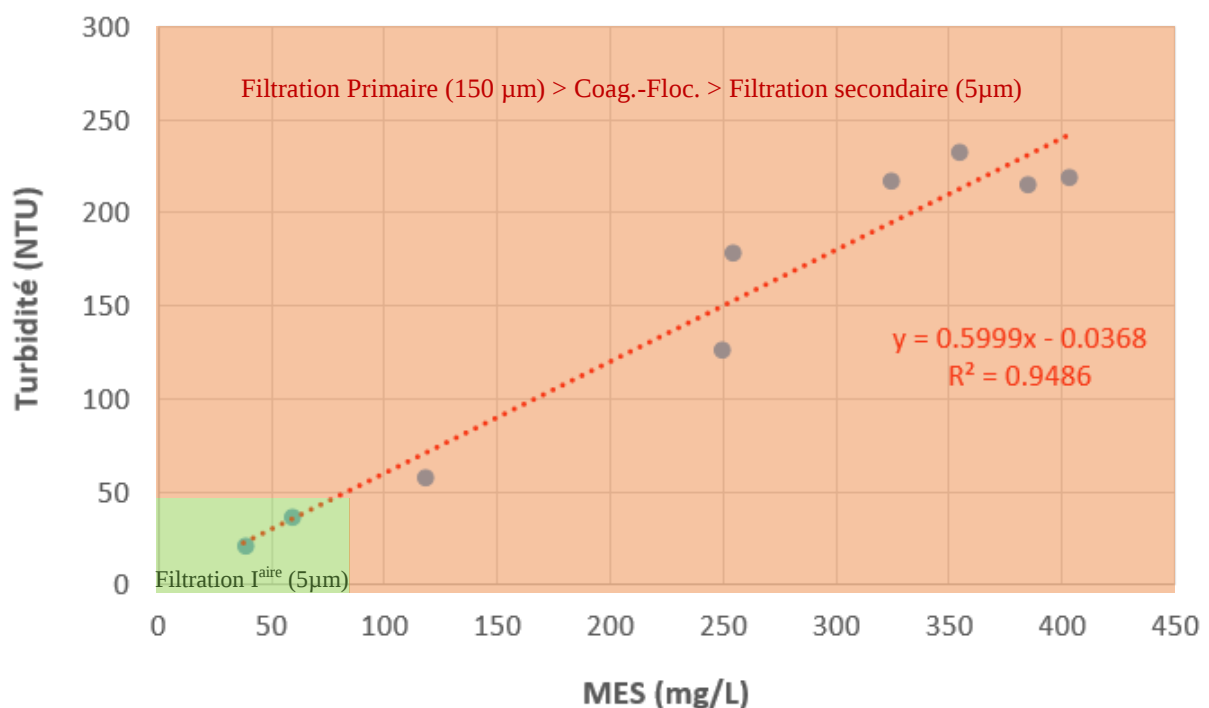


Figure 29 : Adapter la filière en fonction de la charge massique en entrée.

6. BILANS ENERGETIQUES ET FINANCIERS

6.1. Bilan énergétique

Le diagnostic de la performance énergétique renseigne sur la consommation énergétique de chaque équipement et permet d'estimer les consommations futures à l'échelle industrielle.

Ainsi à partir des puissances relevées sur les différents éléments présents sur l'installation pilote et de leur durée de fonctionnement, la consommation en kWh a pu être calculée sur 24h (Tableau 12).

Tableau 12 : Bilan énergétique des différents composants de l'installation pilote.

Equipements	Puissance (Watts)	Nombre d'heures de fonctionnement	Consommation en kWh sur 24h
Pompe d'alimentation	2000	24	48
Pompe doseuse coagulant	0,22	24	0,005
Pompe doseuse floculant	370	24	8,9
Agitateur	550	24	13,2
Pompe d'aspiration lavage	1800	5,3	9,5
Moteur d'entraînement filtre	370	5,3	1,96
Pompe des boues	1800	0,2	0,4
TOTAL			81,9

Les conditions de fonctionnement retenues pour le calcul de ce bilan sont les suivantes :

- Débit d'alimentation = $20 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Etape de coagulation-floculation ;
- Vitesse de rotation tambour = 11 s pour une rotation ;
- Lavage : 40s toutes les 2min20s (moyenne entre les réactifs biosourcés et de synthèse) ;
- Extractions des boues : 15s toutes les 30 minutes.
- **Soit, une consommation de l'ordre de $0,17 \text{ kWh/m}^3$ d'eau filtrée.**

6.2. Bilan financier

Consommation de réactifs

D'après le Tableau 13, l'étape de coagulation-floculation à partir de réactifs biosourcés reviendrait à 0.71 €/m^3 (ou 1.71 €/kg de MS) et à 0.32 €/m^3 (ou 0.93 €/kg de MS) pour les réactifs de synthèse. Le coût est donc doublé pour les réactifs biosourcés. Ces prix sont valables pour des effluents non dilués.

Les concentrations en réactifs vont diminuer avec l'augmentation des taux de dilution. Le Tableau 14 présente l'évolution des concentrations et des coûts en réactifs pour différents taux de dilution de l'effluent.

Tableau 13 : Consommation et coût des réactifs.

	Unité	Réactifs biosourcés		Réactifs de synthèse					
		HYDREX 6798	EMFLOC KCG 750	VTA Combifloc			VTA DW303		
Concentration nécessaire pour la coagulation-floculation	mg/L	200	10	150			1		
Densité	kg/L	1	1,08	1,2			1		
Qté de solution commerciale / m ³ d'effluent	L	0,2	0,04	0,13			0,002		
Masse de solution commerciale / m ³ d'effluent	Kg	0,2	0,0432	0,156			0,002		
Conditionnement	-	Bidon (25kg)	Bidon (30 kg)	Container (1200 kg)	Fût (200 kg)	Bidon (25 kg)	Container (1050 kg)	Fût (200 kg)	Bidon (25 kg)
Prix en € / Kg	€	2,72	3,95	0,75	1,89	1,99	3,24	4,15	6,2
Prix en € / m³ d'effluent	€	0,54	0,17	0,12	0,29	0,31	0,0065	0,0083	0,0124

Tableau 14 : Consommation et coût des réactifs en fonction du taux de dilution de l'effluent.

	Taux dilution	%	0%	100%	200%	400%	800%
Réactifs biosourcés	MES de l'effluent	mg/L	342	171	114	68	38
	HYDREX 6798	mg/L	200	100	67	40	22
	Prix HYDREX 6798 /m3 d'effluent	€/m3	0,54	0,27	0,18	0,11	0,06
	EMFLOC KCG 750	mg/L	10	5	3	2	1
	Prix EMFLOC /m3 d'effluent	€/m3	0,17	0,09	0,05	0,03	0,02
	Prix total /m3 d'effluent	€/m3	0,71	0,36	0,23	0,14	0,08
Réactifs de synthèse	VTA Combifloc	mg/L	150	75	50	30	17
	Prix VTA Combifloc / m3 d'effluent	€/m3	0,30	0,15	0,10	0,06	0,03
	VTA DW303	mg/L	3	1,5	1	0,6	0,3
	Prix final	€/m3	0,0186	0,0093	0,0062	0,0037	0,0019
	Prix total /m3 d'effluent	€/m3	0,32	0,16	0,11	0,06	0,04

7. CONCLUSION

La phase des jar-tests a permis de sélectionner deux couples de réactifs. Le premier couple est composé de réactifs biosourcés : HYDREX 6798 (coagulant organique à base de tanin) et EMFLOC KCG 750 (floculant cationique à base d'amidon). Le second couple est constitué du VTA COMBIFLOC HB-52-65 (coagulant à haute basicité, présence d'aluminium) et du VTA DW303 (polyacrylamide). De plus, les concentrations adaptées pour chacun de ces réactifs ont été déterminées pour les effluents provenant de Horbourg-Wihr et de Wihr.

Ensuite, la phase d'essais sur le filtre pilote a été opérée. Ces premiers tests se sont déroulés sans traitement physico-chimique. Cette filtration primaire permet d'abattre 45% de la DCO (concentration finale de 366 mg/L) et 69% de MES (concentration finale de 100 mg/L). Les rendements hydrauliques du filtre étaient de 91 à 93% pour une charge hydraulique appliquée de 4 à 9 m³/m².h

Des essais ont également été effectués sur des effluents dilués à différents taux afin de s'approcher des conditions hivernales (période de nappe haute). Plus l'effluent en entrée est dilué meilleur sera le rendement hydraulique du filtre. Une filtration à 5µm permet d'améliorer la qualité de l'effluent final même à des taux de dilution de l'ordre de 200 et 400%.

Afin d'améliorer les performances globales du pilote, une étape de coagulation-floculation en amont de la filtration a été intégrée avec des réactifs de synthèse et des réactifs biosourcés.

La coagulation-floculation suivi d'une filtration permet d'obtenir des rendements de 61% sur la DCO et de 92% sur les MES avec les réactifs biosourcés et des rendements de 68% sur la DCO et 90% sur les MES avec les réactifs de synthèse. Ces données semblent optimales si nous les comparons aux valeurs indiquées dans la bibliographie pour un décanteur primaire avec réactifs. Concernant les concentrations de l'effluent final, elles respectent l'Arrêté du 21.07.2015 pour le paramètre des MES et s'approchent des valeurs seuils pour le paramètre de la DCO. On note peu de différence de rendement épuratoire entre ces deux types de réactifs (réactifs biosourcés versus réactifs de synthèse), hormis sur le paramètre du phosphore total. En effet, le coagulant de synthèse à base d'aluminium permet une meilleure précipitation de ce dernier. Les rendements hydrauliques du filtre, sont quant à eux passés de 94% à 73% environ. En effet, l'agglomération des colloïdes accélère le colmatage de la toile filtrante. Cela est d'autant plus vrai lorsque la charge massique en MES de l'effluent d'entrée est élevée.

Dans l'optique d'améliorer ces rendements, des derniers essais ont été menés sur une filière à deux étages de filtration en maintenant un traitement physico-chimique intermédiaire. Ce process a permis d'atteindre des taux d'abattement de 74% sur la DCO et de 97% sur les MES.

Ainsi, à partir de ces essais deux filières pourraient être envisagées pour les effluents excédentaires provenant de Wihr :

Cas n°1 : Les taux de dilution sont faibles, les effluents excédentaires possèdent une turbidité supérieure à 50 NTU, ils suivent la filière suivante : filtration primaire (150 µm), coagulation-floculation et filtration secondaire (5 µm) avant d'être rejetés au milieu.

Cas n°2 : Les taux de dilution sont importants, les effluents excédentaires affichent une turbidité inférieure à 50 NTU, ils sont alors directement dirigés vers la filtration à 5µm.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Principe d'action de la coagulation-floculation sur les colloïdes (source : CARRAND G., CIRSEE)	14
Figure 2 : Les avantages des polymères biosourcés (source : RIVOLLET et SERRE, 2014). 15	
Figure 3 : Localisation et vue aérienne de la station de pompage d'Horbourg-Wihr (source : Géoportail.)	17
Figure 4 : Schéma général de l'installation pilote	20
Figure 5 : Schéma de principe de la filtration (source : MECANA).....	27
Figure 6 : Schéma du lavage de la toile filtrante (source MECANA)	28
Figure 7 : Interface graphique du filtre pilote TF4.....	28
Figure 8 : Turbidité des effluents de Horbourg-Wihr et Wihr et de l'eau de la nappe phréatique avant et après filtration (sur filtre à café) ainsi que la durée de la filtration. Lorsque la durée de filtration > 5min, le volume du filtrat est indiqué.	34
Figure 9 : Evolution de la côte de la nappe d'août 2018 à 2019 (données disponibles au 18/10/19, source : APRONA).	34
Figure 10 : Evolution du niveau de la nappe entre 2000 et 2019 (source : APRONA).	35
Figure 11 : Données de pluie provenant de la station de l'INRA à Colmar (source : Météo France).....	35
Figure 12 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, pour le couple de réactifs HYDREX 6798-EMFLOC KCG750 et à des concentrations de coagulant et de floculant différentes.	38
Figure 13 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, à différentes concentrations de coagulant et floculant pour les effluents de Horbourg-Wihr et Wihr.....	39
Figure 14 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation et indication de la durée de filtration, pour le couple de réactifs (VTA Combifloc-VTA DW303) et à des concentrations de coagulant et floculant différentes.	41

Figure 15 : Turbidités du surnageant (5min sans agitation) et du filtrat (500mL de volume filtré sur filtre à café) après l'étape de coagulation-floculation ainsi que la durée de filtration, à différentes concentrations de coagulant et floculant pour les effluents de Horbourg-Wihr et Wihr.....	42
Figure 16 : Concentrations maximales et rendements minimums à respecter pour les paramètres DBO ₅ , DCO, MES, NGL et Pt (extrait de l'Arrêté du 21.07.2015).....	43
Figure 17 : Demande Chimique en Oxygène de l'effluent brut et des surnageants pour Horbourg-Wihr et Wihr.....	44
Figure 18 : Rendements obtenus à l'issue des Jar-tests sur les effluents d'Horbourg-Wihr et de Wihr.....	44
Figure 19 : Matières en suspension de l'effluent brut et des surnageants pour Horbourg-Wihr et Wihr.....	45
Figure 20 : Rendements obtenus à l'issue des Jar-tests sur les effluents d'Horbourg-Wihr et de Wihr.....	45
Figure 21 : Demande Chimique en Oxygène sur l'effluent brut à différents taux de dilution et sur les surnageants à la suite de jar-test (réactifs biosourcés).	46
Figure 22 : Matières en suspension sur l'effluent brut à différents taux de dilution et sur les surnageants à la suite de jar-tests (réactifs biosourcés).	46
Figure 23 : Données interprétant le dysfonctionnement du filtre pilote dans le processus de lavage.	47
Figure 24 : Schéma du dysfonctionnement du filtre lors des cycles de lavage.....	48
Figure 25 : Extrait de données d'un fonctionnement normal en mode automatique du filtre pilote.....	49
Figure 26 : Concentrations et rendements pour les paramètres de DCO et MES sur l'effluent brut et les effluents filtrés avec et sans traitement physico-chimiques (en rouge les valeurs figurant dans l'Arr. 21.07.2015).....	59
Figure 27 : Concentrations et rendements pour les paramètres de DCO et MES sur l'effluent brut, les effluents après la 1 ^{ère} filtration et 2 nd filtration (en rouge les valeurs figurant dans l'Arr. 21.07.2015).....	64
Figure 28 : Turbidité de l'effluent en fonction de la concentration en MES.....	68
Figure 29 : Adapter la filière en fonction de la charge massique en entrée.	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Taille et temps de décantation des différentes particules (source : DEGREMONT-SUEZ, 2005).....	13
Tableau 2 : Planning de fonctionnement du pilote sans traitement physico-chimique.	32
Tableau 3 : Planning de fonctionnement du pilote avec traitement physico-chimique à partir de réactifs de synthèse.	32
Tableau 4 : Planning de fonctionnement du pilote avec traitement physico-chimique à partir de réactifs biosourcés	32
Tableau 5 : Données issues des essais sur le filtre pilote sans traitement physico-chimique. .	50
Tableau 6 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec dilution de l'effluent au préalable.	51
Tableau 7 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec coagulation préalable.	53
Tableau 8 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés).	54
Tableau 9 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec coagulation préalable.	56
Tableau 10 : Données issues des essais sur le filtre pilote avec traitement physico-chimique (réactifs de synthèse).	57
Tableau 11 : Données issues des essais sur une filtration à deux étages avec traitement physico-chimique.	61
Tableau 12 : Bilan énergétique des différents composants de l'installation pilote.	69
Tableau 13 : Consommation et coût des réactifs.	70
Tableau 14 : Consommation et coût des réactifs en fonction du taux de dilution de l'effluent.	70

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Bassin d'orage de la station de pompage d'Horbourg-Wihr.....	9
Photo 2 : Toile microfibre pour filtration primaire (source MECANA).....	10
Photo 3 : Banc d'essais jar-tests.....	11
Photo 4 : Local d'accueil du filtre pilote.....	17
Photo 5 : Pompe d'alimentation et son installation dans l'ouvrage en sortie de dégraisseur..	22
Photo 6 : Armoire électrique avec variateur de fréquence et vanne de régulation située après la pompe d'alimentation.....	22
Photo 7 : Préleveur d'échantillon (Bülher 2000, Hach-Lange)	23
Photo 8 : Connexion de l'eau de la nappe à l'installation pilote	23
Photo 9 : Bidon de coagulant biosourcé associé au poste de dosage et pompe d'injection	24
Photo 10 : Mélangeur statique et injection du coagulant au niveau du mélangeur statique.....	24
Photo 11 : Cuves de préparation du floculant munies d'agitateur et pompe doseuse	25
Photo 12 : Dispositif permettant de respecter les temps de contact après la coagulation-floculation.....	26
Photo 13 : Filtre pilote TF4 (MECANA).....	26
Photo 14 : Tambour avec médiateur filtrant propre et en action de filtration ainsi que le déversement des eaux filtrées dans le canal montant et du trop-plein d'urgence.	27
Photo 15 : Tubes de niveau, niveau de l'eau à filtrer (g.) et de l'eau filtrée (d.)	27
Photo 16 : Tambour lors d'un cycle de lavage.....	28
Photo 17 : Sortie du filtre pilote et dispositif de réception des eaux traitées	29
Photo 18 : Débitmètres et turbidimètres installés sur le filtre pilote.	30
Photo 19 : Effluent entrant à la station en début de temps de pluie (g.) et effluent quelques heures après une averse (d.)	33

Photo 20 : Filtration sur filtre à café	36
Photo 21 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant])......	37
Photo 22 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) puis décantation (1min sans agitation) avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).	37
Photo 23 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (HYDREX 6798-EMFLOC KCG750) encore sous agitation avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 200-20 (H-W), 200-20 (Wihr), 150-10 (Wihr), 100-10 (Wihr).....	39
Photo 24 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation HYDREX 6798-EMFLOC KCG750 puis décantation (5min sans agitation) avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 200-20 (H-W), 200-20 (Wihr), 150-10 (Wihr), 100-10 (Wihr).	39
Photo 25 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).	40
Photo 26 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) puis décantation (5min sans agitation) avec différentes concentrations (mg/L) de réactifs (valeurs indiquées sur la photo [coagulant]-[floculant]).	40
Photo 27 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation (VTA Combifloc-VTA DW303) encore sous agitation avec différentes concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 150-3 (H-W), 150-3 (Wihr), 100-2 (Wihr).....	41
Photo 28 : Jar-tests après l'étape de coagulation-floculation VTA Combifloc-VTA DW303 puis décantation (1min sans agitation) avec des concentrations (mg/L) de coagulant et de floculant respectivement (g.à d.) : 100-2 (Wihr), 50-2 (Wihr).....	42
Photo 29 : Effluent brut (g.), eaux de lavage (milieu), effluent après filtration primaire à 5 µm (d.)	48
Photo 30 : Effluent brut (g.) et effluent après une filtration à 5µm (d.).....	51
Photo 31 : Effluent brut (g), effluent dilué à 200 et 400% (milieu) et effluent dilué après une filtration à 5µm (d).	52
Photo 32 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).	53

Photo 33 : Présence de mousse à la surface du filtre. A gauche lorsque la solution commerciale (HYDREX 6798) est injectée pure et à droite lorsqu'elle est injectée après une dilution au préalable.	54
Photo 34 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).	55
Photo 35 : A gauche, flottation des flocs et à droite accumulation des flocs à la surface du filtre	55
Photo 36 : Effluent brut (g), effluent coagulé (milieu), effluent après filtration (d).	56
Photo 37 : Effluent brut (g), effluent coagulé-floculé (milieu), effluent après filtration (d)....	57
Photo 38 : Stockage des effluents issus de la première filtration.	60
Photo 39 : Effluents bruts en temps de pluie, effluent filtré (5µm), effluent coagulé-floculé, effluent seconde filtration (5µm), (g. à d.).	62
Photo 40 : Effluents bruts quelques heures après une averse, effluent filtré (5µm), effluent coagulé-floculé, effluent seconde filtration (5µm), (g. à d.).	62
Photo 41 : Casse et fuite au niveau de l'installation pilote	65
Photo 42 : Dégraisseur-dessableur de la station de pompage d'Horbourg-Wihr.....	67

LISTE DES ACRONYMES

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DDT : Direction Départemental des Territoires

ECP : Eaux claires parasites

EH : Equivalent Habitant

MES : Matières en Suspensions

NGL : Azote GLobal

NTK : Azote Khedjal

NTU : Nephelemetric Turbidity Unit

pH : Potentiel Hydrogène

Pt : Phosphore total

STEP / STEU : STation d'EPuration/Station de Traitement des Eaux Usées

BIBLIOGRAPHIE

- ABID Aziza, ZOUHRI Abdeljalil et IDER Abdelali.** « *Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait du cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation* », 2008. Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11-n°2, p.251-257.
- BABINEAU Daniel, CHARTRAY Dominique et LEDUC Roland.** « *Etude comparative de deux floculants pour le traitement physico-chimique d'une eau usée municipale : chitosane et polymère de synthèse* », 2008. Water Quality Research Journal, Canada, Vol.43, n°2/3, p.219-229.
- CRINI Grégorio, BADOT Pierre-Marie et MORIN-CRINI Nadia.** « *Traitement des eaux par du chitosane : intérêts, méthodes et perspectives* », 2009. Collection Recherche et Innovation des Editions Techniques de l'Ingénieur, p.12.
- DEGREMONT et SUEZ.** « *Memento Technique de l'eau* », 2005. Tome I, Chapitre 3-p.185 Coagulation-floculation, 10^{ème} édition, ISBN 2-7430-07-17-6.
- DELLY OUELLET Laura.** « *Impact de l'utilisation d'un polymère biosourcé sur la réduction du colmatage en filtration granulaire* », 2017. Mémoire pour l'obtention de la Maîtrise Sciences Appliquées de l'Ecole Polytechnique de Montréal, p.117.
- DESBRIERES Jacques.** « *Chitine et chitosane* ». L'actualité chimique, n°261-novembre-décembre 2002, p.39-44.
- GAID Kader, SAUVIGNET Philippe et TRIPARD Elise.** « *Traitement des eaux usées : les tanins une vraie alternative aux coagulants minéraux* ». L'Eau L'Industrie Les Nuisances, n°421-Avril 2019, p.96-p.100.
- GREEN NEWS TECHNO.** « *Démarrage de FloconBio : un enjeu pour la filière des boues* ». Green News Techno, n°52-Janvier 2012, p.2.
- KADOUCHE Slimane.** « *Utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux* », 2013. Thèse pour l'obtention du doctorat en chimie appliquée de l'Université Mouloud Mammeri, p.156.
- PERRET Jean-Marc et CANLER Jean-Pierre.** « *Affinage du traitement de la pollution particulaire par les procédés mécanique de tamisage* », 2015. Technique Science et Méthode, n°11, p.63-75.
- PERRET Jean-Marc et CANLER Jean-Pierre.** « *Affinage du traitement de la pollution particulaire par les procédés mécaniques rustiques* », 2013. Document technique n°40, IRSTEA-ONEMA, p.84.
- RINAUDO Marguerite.** « *Les alginates et les carraghénanes* ». L'actualité chimique, n°261- novembre-décembre 2002, p.35-38.
- RIVOLLET Benoit et SERRE Claude-Emmanuel.** « *Action collective : étude et accompagnement des PME franciliennes dans l'intégration des polymères biosourcés* », 2014. Société Tech2Market. Rapport technique, p.91.
- SADOWSKI Antoine-Georges.** « *Chapitre 5 : Traitement des eaux résiduaires urbaines* », 2013. Chimie et environnement, éd. Dunod, p.129-169.

SADOWSKI Antoine-Georges et REGIS VIERA Lorena. « *Essais de filtration à deux étages sur pilote en vue d'une désinfection des eaux usées avant rejet dans un milieu aquatique sensible* », Août 2016. Rapport technique, p.132.

TECHNIQUES SCIENCES ET METHODES. « *Les flocculants non pétrochimiques refont surface* ». Revue mensuelle n°3-2014, p.2.

WUSTRACK Kerstin. « *Nouveaux flocculants biosourcés pour un traitement de l'eau efficace et respectueux de l'environnement* », 2013. Communiqué de presse –Leibniz-Institut de recherche sur les polymères Dresden.

Sites internet consultés :

<http://www.poledream.org/archives/flocon-bio/>

<https://www.aprona.net/>

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

<http://www.mecana.ch/fr/>

<https://www.cteau.com/project/procedes-de-traitement-des-eaux/>

<http://icpees.unistra.fr/ingenierie-des-polymeres/polymeres-biosources-etou-biodegradables-pour-lenvironnement-et-la-sante/>

<http://www.nordic-water.de/index.php/produkte/dynadisc-scheibenfilter>

<https://www.industrie-techno.com/>

<https://www.techniques-ingenieur.fr/>

<https://astee-tsm.fr/>

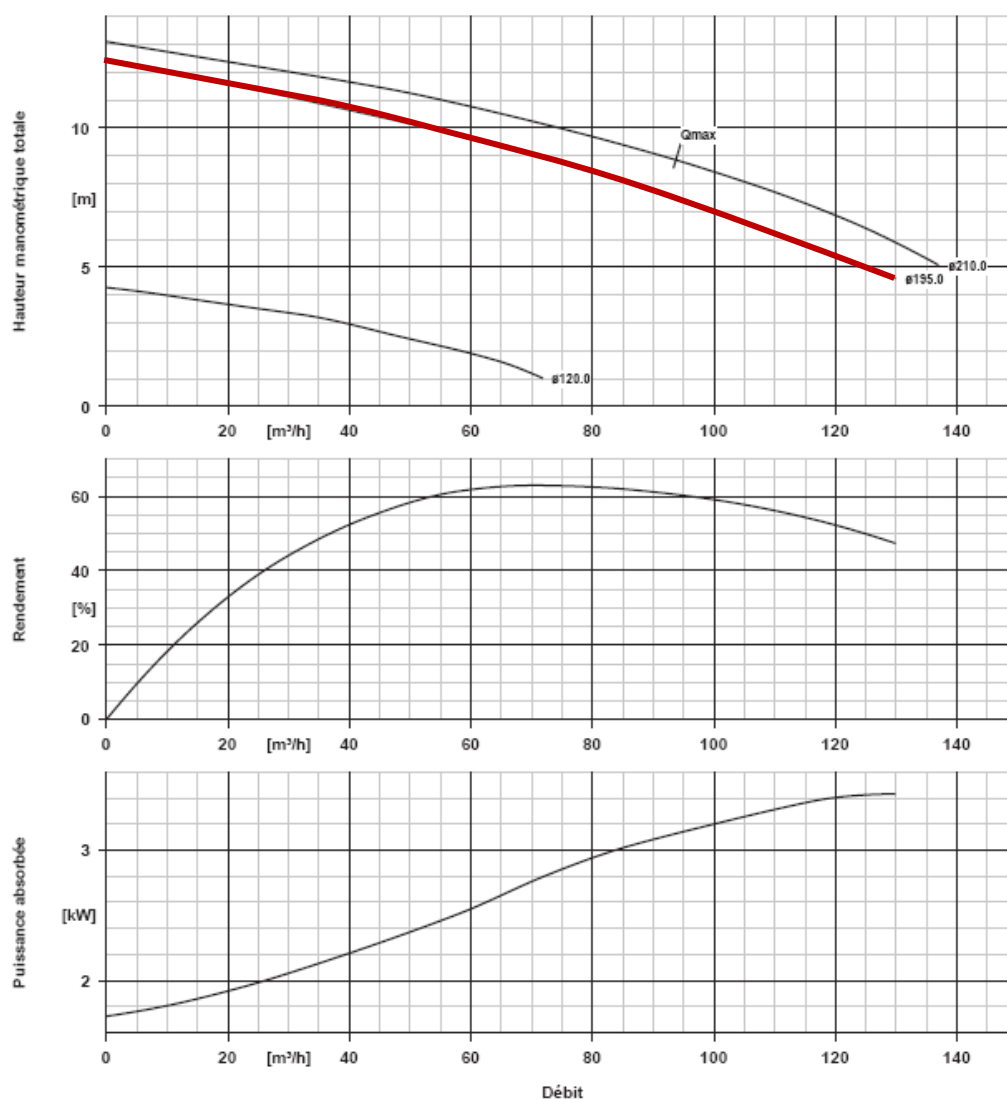
ANNEXES

ANNEXE 1 : Courbe caractéristique hydraulique de la pompe d'alimentation du pilote.	82
ANNEXE 2 : Vues schématiques et vue 3D du filtre pilote TF-4 (source MECANA).....	83
ANNEXE 3: Liste des coagulants et flocculants utilisés pour les jar-tests	84
ANNEXE 4 : Résultats (concentration et rendement) des analyses physico-chimiques (DBO5, NTK et Pt) sur les surnageants de jar-tests.....	86
ANNEXE 5 : Résultats des analyses physico-chimiques (NTK et Pt) sur l'effluent brut dilué à différents taux de dilution et les surnageants de jar-tests.....	88
ANNEXE 6 : Données issues des essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés)	89
ANNEXE 7 : Données issues des essais sur le pilote avec traitement physico-chimique (réactifs biosourcés)	90

ANNEXE 1 : Courbe caractéristique hydraulique de la pompe d'alimentation du pilote.

Amarex NF 80-220/044ULG-195

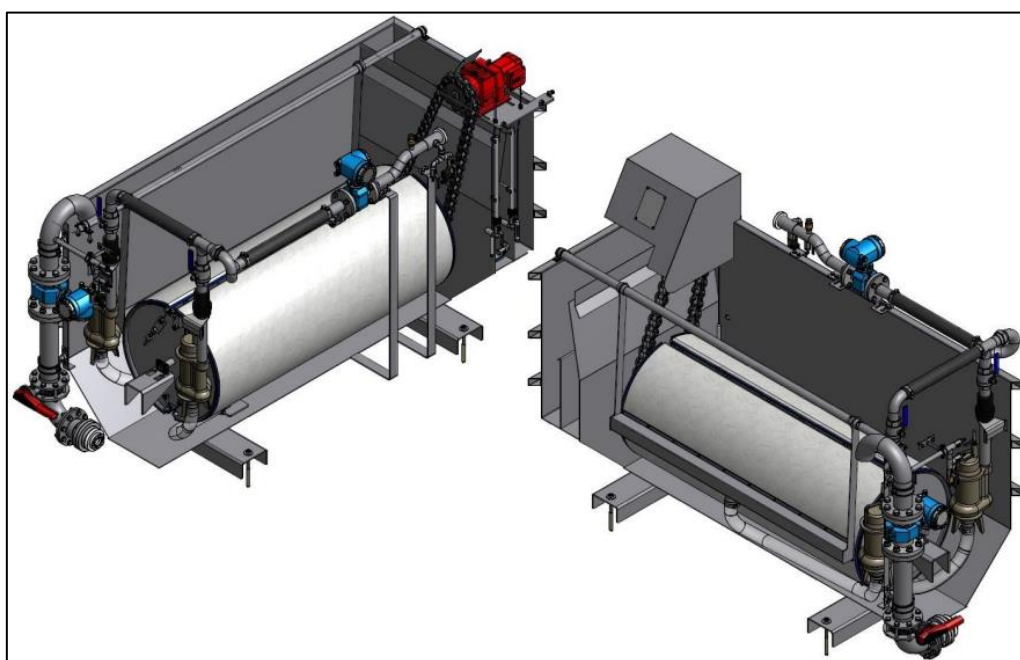
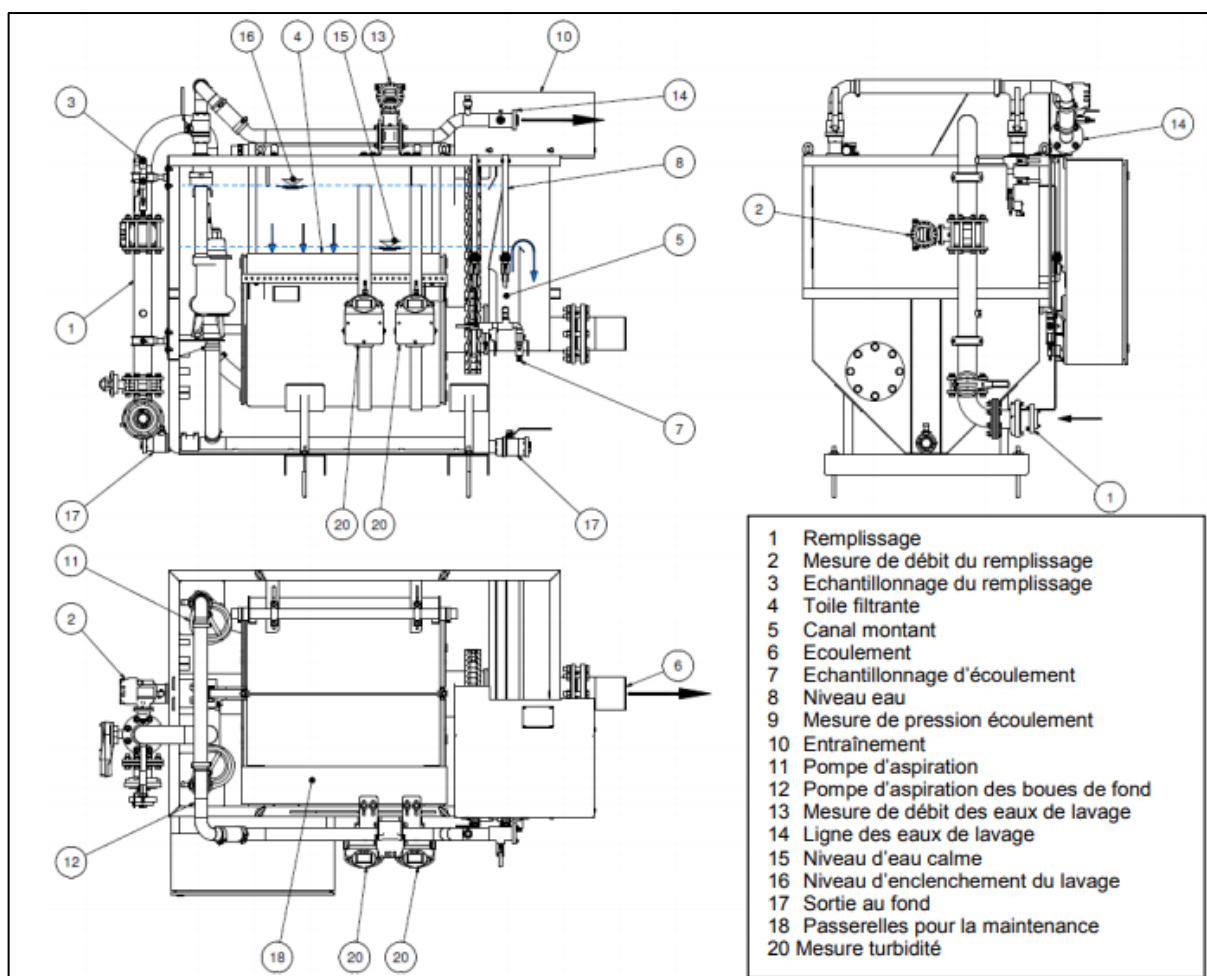
No. de version: 3



Caractéristiques de courbe

Vitesse de rotation	1395 rpm	Puissance absorbée	2,78 kW
Densité liquide pompé	998 kg/m^3	NPSH req. 3%	0,00 m
Viscosité	1,00 mm^2/s	Numéro de courbe	K2563-54-07S
Débit	71,28 m^3/h	Diamètre de roue effectif	195,0 mm
Hauteur manométrique totale	9,01 m	Norme de réception	tolérances suivant ISO 9906 classe 3B ; en dessous de 10 kW suivant par. 4.4.2
Rendement	62,9 %		

ANNEXE 2 : Vues schématiques et vue 3D du filtre pilote TF-4 (source MECANA)

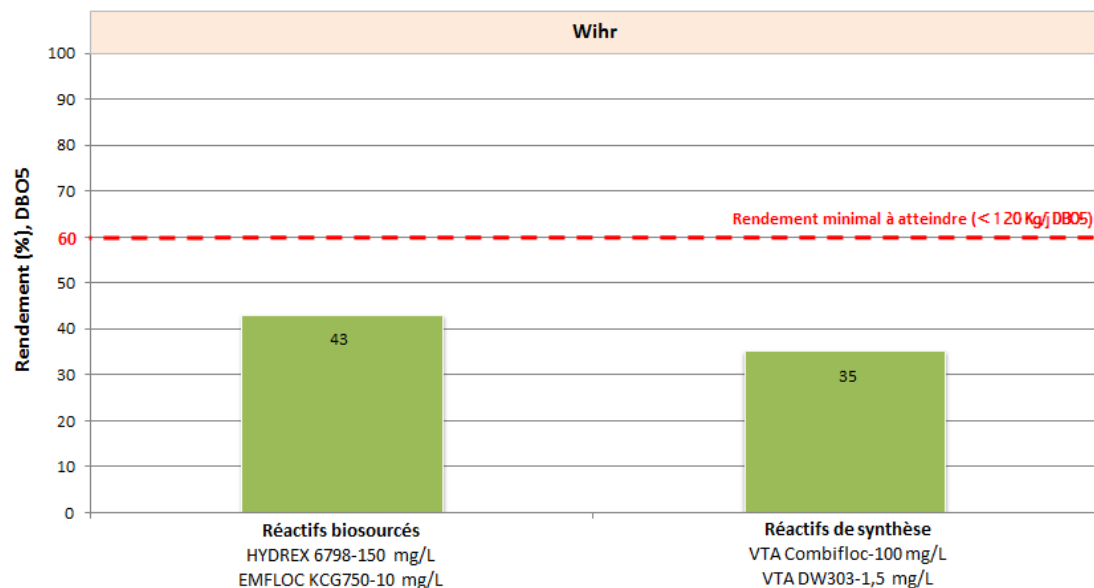
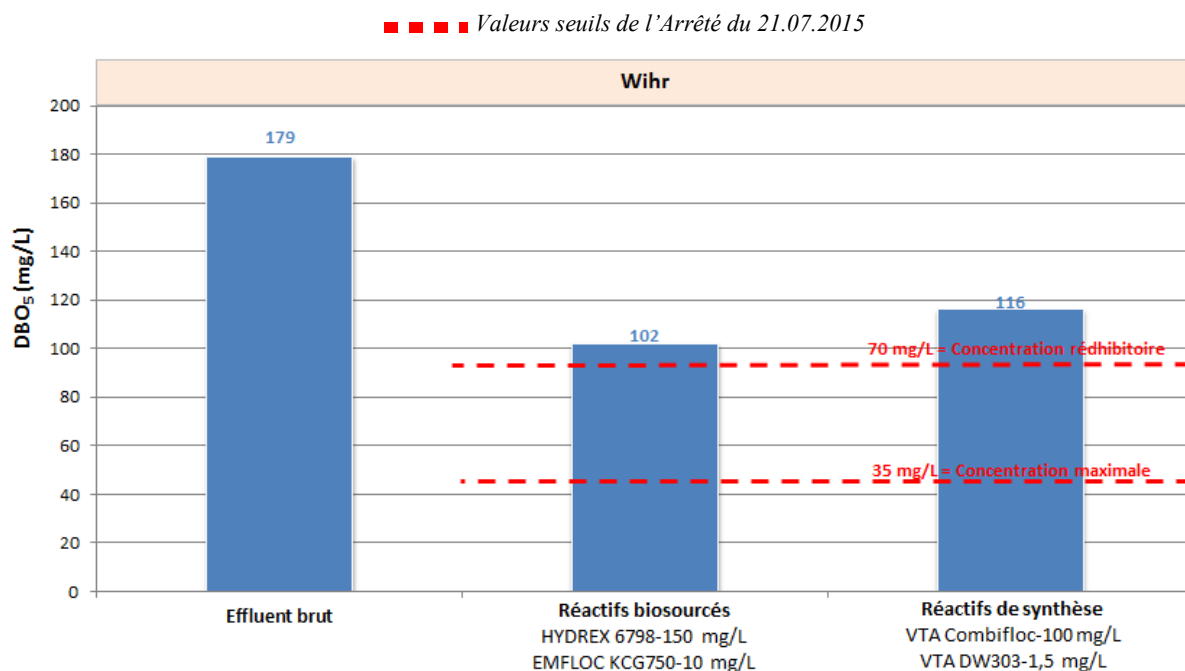


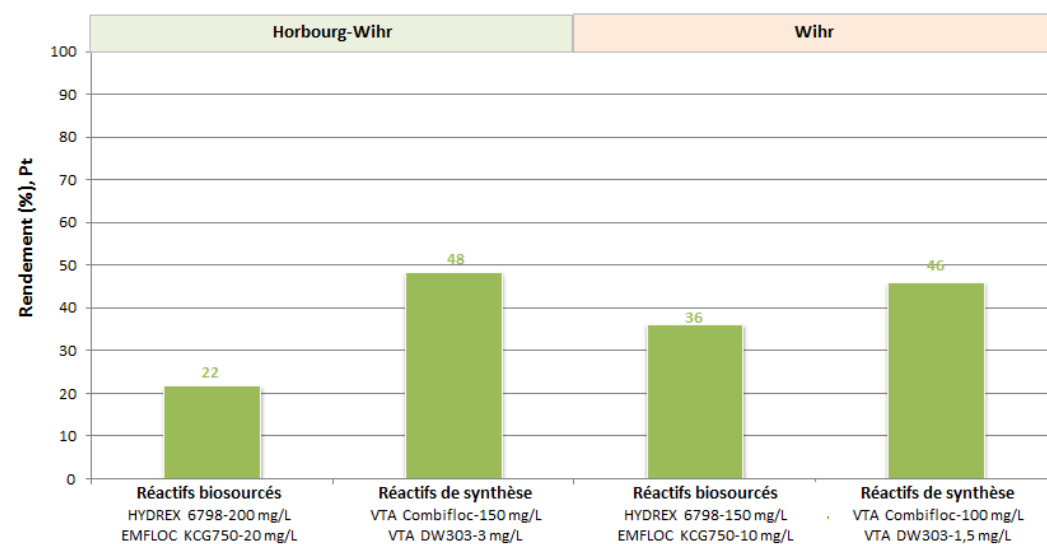
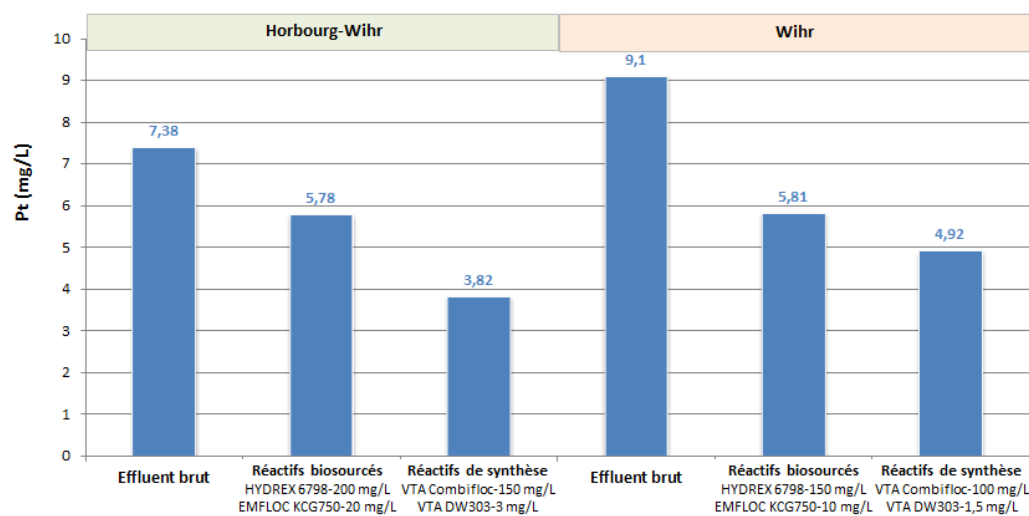
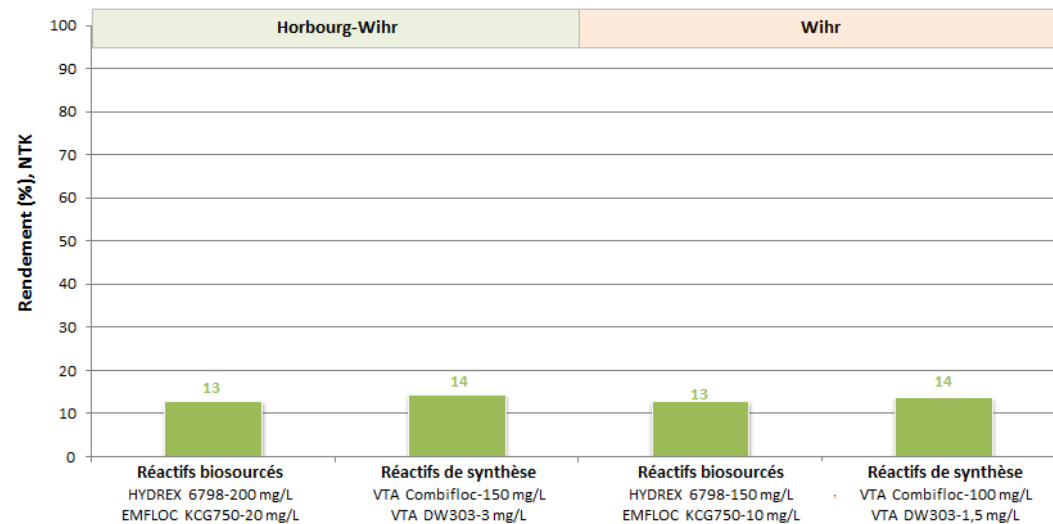
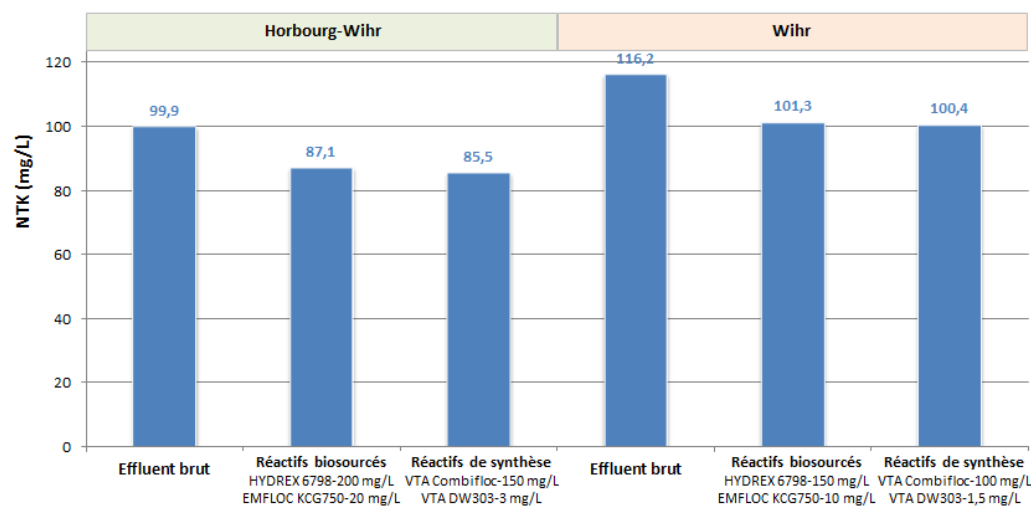
ANNEXE 3: Liste des coagulants et flocculants utilisés pour les jar-tests

Réactif		Type	Composition	Conditionnement	Fournisseur
BIOSOURCES	HYDREX 6798	Coagulant organique	A base de tanin	Liquide	VEOLIA
	HYDREX 6799	Coagulant organique	De nature végétale	Liquide	VEOLIA
	ALOPOLYM 6023	Coagulant	Amidon modifié + sel d'aluminium	Liquide	ALOES
	ADIFLOC KD 600	Coagulant organique	Origine végétale tanin	Liquide	ADIPAP
	EMFLOC KA3	Floculant anionique	Amidon modifié de patate	Poudre	ADIVEC
	GILUFLOC 6404	Floculant anionique	Amidon modifié	Poudre	BRENNTAG
	BIOFLOC AC6	Floculant cationique	Amidon cationique modifié	Liquide	ADIPAP
	BIOFLOC CL2	Floculant cationique	Amidon modifié	Liquide	ADIPAP
	BIOFLOC CL4	Polymère cationique	Amidon modifié	Liquide	ADIPAP
	ALOPOLYM 6030	Polymère cationique	100% biosourcé amidon modifié	Liquide	ALOES
	EMFLOC KCG 750	Floculant cationique	A base d'amidon	Liquide	ADIVEC
	VTA LB 50	Biopolymère cationique	A base d'amidon modifié de maïs	Liquide	VTA
	HYDREX 3842	Floculant organique	A base d'amidon	Poudre	VEOLIA
	HYDREX 3841	Floculant organique	A base d'amidon	Poudre	VEOLIA
	BIOFLOC CE2		100% biosourcé, faiblement chargé	Liquide	ADIPAP
	SATIALGINE® IVA 1061	Floculant	Sodium alginate (polysaccharide naturel produit à partir d'algues brunes)	Poudre	ALGAIA
	CHITOSAN	Coagulant /floculant	pH < 6 Le chitosane devient un polymère cationique soluble à haute densité de charge	Liquide	BRENNTAG
	BENTONE		Argile hectorite	Poudre	BRENNTAG

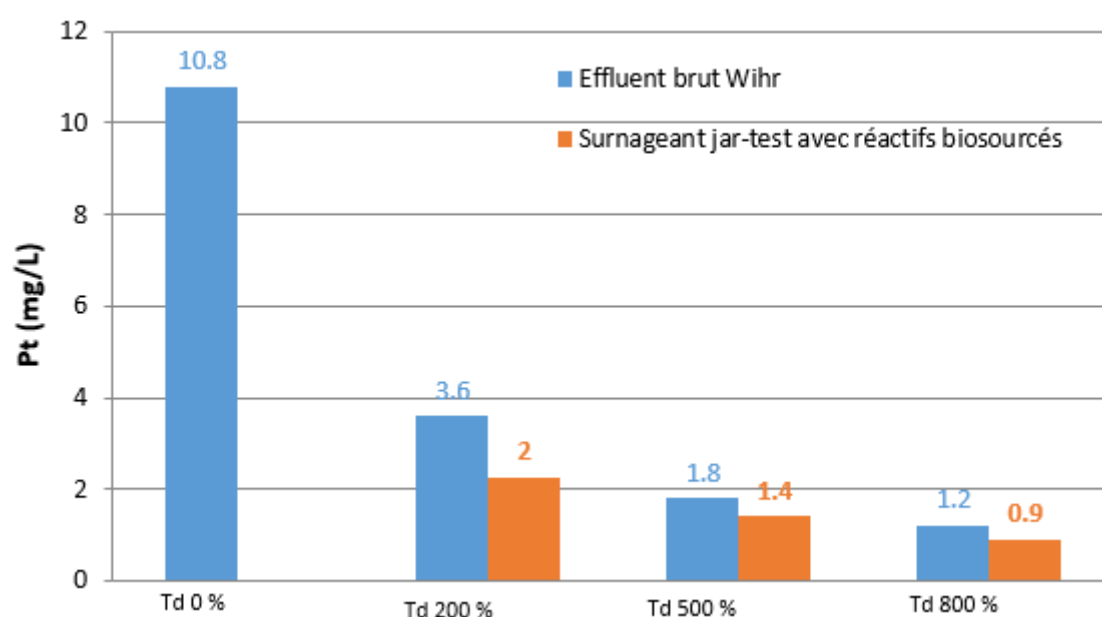
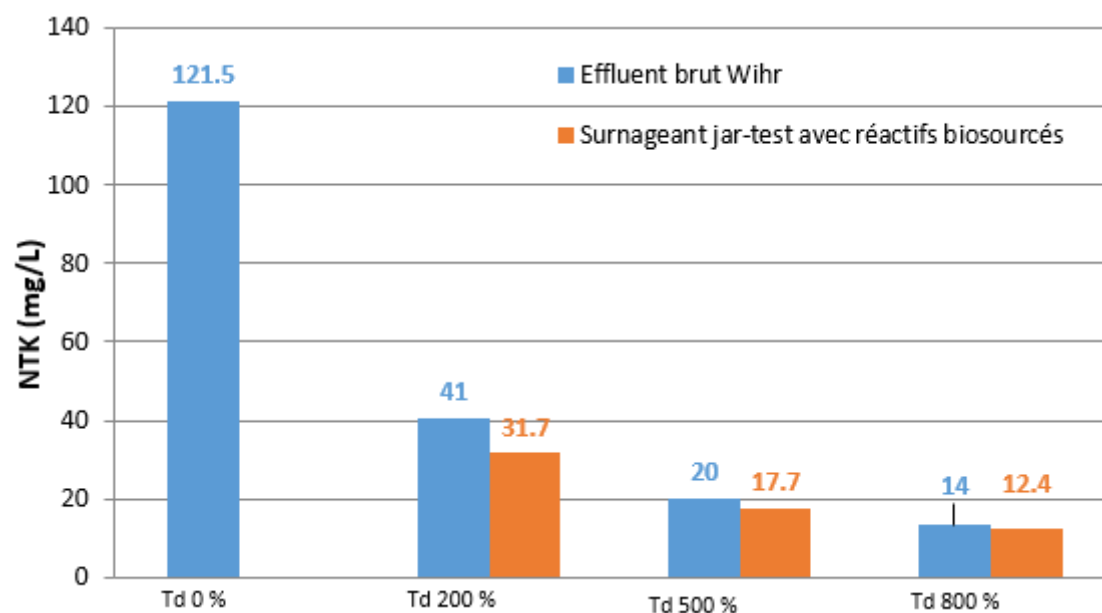
	Réactif	Type	Composition	Conditionnement	Fournisseur
MINERAL OU DE SYNTHÈSE	VTA Combifloc	Coagulant	Aluminium haute basicité, adapté à l'EP	Liquide	VTA
	VTA19C	Coagulant/floculant	Polyhydroxychlorure d'aluminium	Liquide	VTA
	VTA DW303	Floculant anionique	Polyacrylamide	Liquide	VTA
	EM 533	Floculant anionique	Polyacrylamide	Liquide	SNF
	ALOPOLYM 634 AP	Polymère	-	Poudre	ALOES
	ALOPOLYM 637 AP	Polymère floculant	-	Poudre	ALOES
	VTA 303	Floculant	-	Liquide	VTA
	VTA EA 39	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 186	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 165 N	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 85	Floculant	-	Liquide	VTA
	LD 245	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 99	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 178	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 180	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 182	Floculant	-	Liquide	VTA
	LC 184	Floculant	-	Liquide	VTA

ANNEXE 4 : Résultats (concentration et rendement) des analyses physico-chimiques (DBO₅, NTK et Pt) sur les surnageants de jar-tests.





ANNEXE 5 : Résultats des analyses physico-chimiques (NTK et Pt) sur l'effluent brut dilué à différents taux de dilution et les surnageants de jar-tests.



*ANNEXE 6 : Données issues des essais sur le pilote avec traitement physico-chimique
(réactifs biosourcés)*

Date	Unités	17/09	02/10	17/09	19/09
Durée de l'essai	hh:mm:ss	01:00	1h20	01:00	1h40
Turbidité effluent brut	NTU	312	178	312	215
Débit eaux usées	m3/h	30	20	30	30
COAGULATION- FLOCCULATION					
[coagulant]	mg/L	100	100	150	150
[floculant]	mg/L	8	8	12	12
MECANA					
Turbidité sortie	NTU	36	8-12	14	11
Durée entre les cycles de lavage	min	1min40	1min18	1min10s	50s
Charge hydraulique	m3 /m².h	7.5	5	7.5	7.5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	20%	35%	25%	30%
Rendement hydraulique	%	80%	65%	75%	70%

**ANNEXE 7 : Données issues des essais sur le pilote avec traitement physico-chimique
(réactifs biosourcés)**

Date	Unités	14/10	09/10	23/09	24/09	26/09	01/10
Durée de l'essai	hh:mm:ss	30min	30min	02:00	01:15	00:40	1h15
Pluviométrie	mm/m²	-	-	pluie la veille au soir		-	-
MES entrée	mg/L						
Turbidité effluent brut	NTU	144	140	33	269	220	167
Débit eaux usées	m³/h	20	20	30	30	30	20
Débit E.C.P	m³/h		0	0	0	0	0
Taux dilution	%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
COAGULATION-FLOCCULATION							
Réactifs bio ou synthèse		synthèse	synthèse	synthèse	synthèse	synthèse	synthèse
[coagulant]	mg/L	150	150	150	150	150	150
[floculant]	mg/L	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
MECANA							
Maille toile	µm	5	5	5	5	5	5
Surface	m²	4	4	4	4	4	4
Débit d'alimentation	m³/h	20	20	30	30	30	20
MES sortie	mg/L	-					
Turbidité sortie	NTU	10 à 50	7-30	4	12	10	30
Durée entre les cycles de lavage	s	158	158	75	20	28	123
	min	2min38					
Charge hydraulique	m³ /m².h	5	5	7.5	7.5	7.5	5
Pourcentage du volume de lavage + boues	%	25%	21%	24%	45%	40%	26%
Rendement hydraulique	%	75%	79%	76%	55%	60%	74%

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme : Mastère Spécialisé Eau Potable Assainissement

Spécialité : Traitement des eaux usées

Auteur : Coralie TARRENE

ANNEE 2019

Titre : Installation et suivi d'une unité pilote de traitement physique d'effluents urbains excédentaires à la station de pompage d'Horbours-Wihr.

Nombre de pages : 62 pages de texte et 9 pages d'annexes

Nombre de références bibliographiques : 17

Structure d'accueil : BEREST Rhin-Rhône – COLMAR (68)

Maître de stage : M. BAUER Thierry - Directeur

Résumé

En 2012, des campagnes de mesures sur le système d'assainissement d'Horbours-Wihr, ont révélé des taux de dilution de plus de 2000% en période de nappe haute. Cet excès d'eau à la station de pompage engendre des rejets vers le milieu naturel par temps sec.

L'ampleur des travaux pour arriver à un résultat satisfaisant à court terme et la demande insistante de la Police de l'eau ont conduit à une solution transitoire portant sur le traitement des effluents excédentaires par temps sec.

La filière proposée, compte tenu du caractère intermittent du délestage hydraulique, serait constituée d'une filtration primaire à 5 µm. Celle-ci serait précédée, si besoin, d'une étape de coagulation-floculation à partir de réactifs de synthèse ou biosourcés.

Mots-clés : traitement des eaux usées, filtration primaire, coagulation-floculation, réactifs de synthèse, réactifs biosourcés.