



HAL
open science

Optimisation de la filière boue de la station de traitement des eaux de Pierre-Bénite

Morgane Bodard

► **To cite this version:**

Morgane Bodard. Optimisation de la filière boue de la station de traitement des eaux de Pierre-Bénite. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-02057854

HAL Id: dumas-02057854

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02057854>

Submitted on 5 Mar 2019

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.

OPTIMISATION DE LA FILIERE BOUE DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX DE PIERRE BENITE



Stage réalisé en vue de l'obtention du Mastère Spécialisé Eau Potable et Assainissement



Date de réalisation du document : 03 Novembre 2018

Auteur Morgane BODARD	Maître de stage Philippe DALLE Responsable d'exploitation	Référent ENGEES Paul BOIS Ph.D, Maitre de Conférences
Structure d'accueil Métropole de Lyon 20 rue du Lac CS 33569 69505 Lyon	Lieu du stage Station d'épuration de Pierre Bénite Chemin du barrage 69310 Pierre-Bénite	
Début du stage 14 mai 2018	Fin du stage 9 novembre 2018	

REMERCIEMENTS

Je remercie M. Baptiste JULIEN, directeur de la station d'épuration de Pierre Bénite pour m'avoir accueillie en stage au sein de son unité.

Je remercie également M. Philippe DALLE pour ses conseils et son accompagnement tout au long du stage. Mes remerciements vont ensuite à M. Laurent MEAUDE et M. Walter GRACI qui m'ont toujours accordé du temps lorsque j'avais besoin de renseignements.

Merci à toutes les équipes de conduite pour les temps d'échanges qui m'ont permis d'avoir un retour terrain plus que précieux pour mener à bien ce travail de fin d'études.

Enfin, merci à toutes les personnes présentes sur la station pour leur accueil.

RESUME

Dans une optique d'amélioration continue, le Grand Lyon a décidé d'étudier les possibilités d'amélioration du fonctionnement de la filière boue de la station de Pierre Bénite. Le travail présenté dans ce rapport identifie, grâce à une phase de diagnostic, certains points d'amélioration possibles. De nouvelles stratégies de pilotage sont proposées et détaillées. Elles visent à optimiser les performances du process et à gagner en souplesse d'exploitation. Ce travail n'a pas pu aboutir à leur mise en œuvre effective mais détaille les aménagements et le phasage nécessaires à leur mise en place.

SUMMARY

Pursuing a continuous improvement policy, the Grand Lyon has decided to study the optimization possibilities of the sludge treatment process of Pierre Benite's water treatment plant. The work presented in this report underlines some possible points of improvement. New process management strategies are proposed, aiming process operation and performances enhancement. Although this new policies could not be implemented, necessary changes are detailed and a provisional schedule is provided.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
RESUME	3
SUMMARY	3
LISTE DES ABBREVIATIONS	6
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	8
INTRODUCTION	9
I. CONTEXTE DU STAGE	10
I.1. LA MÉTROPOLE DU GRAND LYON	10
I.2. FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX DE PIERRE BÉNITE	12
II. PERIMETRE DE LA MISSION DE STAGE ET METHODOLOGIE	19
II.1. PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE	19
II.2. OBJECTIFS DU STAGE	19
II.3. MÉTHODOLOGIE	20
III. ETAT DE L'ART SUR LE TRAITEMENT DES BOUES DE STATION D'EPURATION	22
III.1. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA COMPOSITION DES BOUES D'ÉPURATION	22
III.2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA GESTION DES BOUES D'ÉPURATION	23
III.3. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES ÉPAISSISSEURS STATIQUES	24
III.4. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES FLOTTATEURS	26
III.5. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA CENTRIFUGATION	27
IV. ETAT DES LIEUX DE LA FILIERE BOUE	29
IV.1. VALIDATION DU CHOIX DE LA FILIÈRE	29
IV.2. SURDIMENSIONNEMENT DE LA STATION ET SES CONSÉQUENCES SUR L'EXPLOITATION	29
IV.3. BILANS VOLUMIQUES ET MASSIQUES	30
IV.4. BILAN DE FONCTIONNEMENT DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES	32
IV.1. BILAN DE FONCTIONNEMENT DE L'ÉTAPE DE FLOTTATION	33
IV.2. BILAN DE FONCTIONNEMENT DE L'ÉTAPE D'ÉPAISSISSEMENT	34
IV.3. BILAN DE FONCTIONNEMENT DE STOCKAGE ET DES CENTRIFUGEUSES	38
IV.4. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS DE L'ÉTAT DES LIEUX	40
V. ETUDE D'AMENAGEMENTS DE LA FILIERE BOUE	41
V.1. OPTIMISATION DE LA GESTION L'EXTRACTION BOUES BIOLOGIQUES BRUTE ET DES BOUES BIOLOGIQUES FLOTTÉES	41
V.2. OPTIMISATION DE LA GESTION DES BOUES PRIMAIRES ET DES BOUES ÉPAISSIES	49
V.3. OPTIMISATION DE LA GESTION DES FOSSES ET DES CENTRIFUGEUSES	50
VI. APPUI A LA CONDUITE DU CHANGEMENT	55
VII. PROPOSITIONS FINALES	56
VIII. PROPOSITION DE PHASAGE	57
IX. CONCLUSIONS GENERALES	58
X. LIMITES DU STAGE ET PERSPECTIVES POUR LA SUITE	59
BIBLIOGRAPHIE	60
ANNEXE 1 - RECAPITULATIF DES OUVRAGES DE LA STATION	62
ANNEXE 2 – PARAMETRES DE REGLAGES D'UNE CENTRIFUGEUSE EN FONCTION DE LA QUALITE DE LA BOUE DESHYDRATEE ET DES CENTRATS	63

ANNEXE 3 - EXEMPLE DE CONDUITE DIFFERENCIEE SUR UNE JOURNEE DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES.....	64
ANNEXE 4 - EVOLUTION DE MASSES DE BOUES PRIMAIRES EXTRAITES EN FONCTION DES PRECIPITATIONS .	65
ANNEXE 5 – ANALYSE DE LA GESTION D'UN EPAISSISSEUR LORS D'UN EVENEMENT PLUVIEUX	66
ANNEXE 6 – DETAIL DE L'ETUDE DES EVENEMENTS PLUVIEUX	67
ANNEXE 7 – DONNEES CONSTRUCTEURS DES POMPES D'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES	68
ANNEXE 8 – SIMULATION DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES : MODE TABLE DE TEMPS	71
ANNEXE 9 - SIMULATION DE L'EXTRACTION BOUES BIOLOGIQUES – TABLE DE TEMPS AVEC TEMPS D'ARRET A LA FIN.....	72
ANNEXE 10 – SIMULATION DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES – MODE TABLE DE TEMPS DYNAMIQUE – ECART ENTRE LE DEBIT NOMINAL ET LE DEBIT REEL D'UNE POMPE.....	73
ANNEXE 11 – NOTE DE CALCUL POUR LE VOLUME DES FOSSES EN FONCTION DU NIVEAU	74
ANNEXE 12 – NOTE DE CALCUL POUR L'ESTIMATION DES VOLUMES NECESSAIRES DE STOCKAGE DE BOUES MIXTES ET DE BOUES DESHYDRATEES	75
ANNEXE 13 – SIMULATION POUR LE REGLAGE DES NIVEAUX ARRET/MARCHE DES CENTRIFUGEUSES PROPOSES	77

LISTE DES ABBREVIATIONS

BFG : Boues flottées globales

BEP : Boues Épaissies

Cm : Charge massique

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EH : Equivalents-Habitants

ERU : Eaux Résiduaires Urbaines

MES : Matières En Suspension

MS : Matières Sèches

MVS : Matière Volatile en Suspension

Nk : Azote Kjeldhal

Q : Débit

RVDA : Réception et Valorisation des Déchets d'Assainissement

ESU : Eau Service Usines

UF : Unité fonctionnelle

CET : Centre d'enfouissement et de Traitement

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Organigramme de la délégation Développement Urbain et Cadre de Vie et de la Direction Eau et Déchets.....	10
Figure 2 - Organigramme de la direction Ajointe Eau, du service ESU (Eau Service Usines) et de la station de Pierre Bénite.....	11
Figure 3 - Bassin versant et localisation de la station d'épuration de Pierre Bénite	12
Figure 4 – Valeurs de référence de la station de Pierre Bénite	13
Figure 5 - Vue d'ensemble de la station de Pierre Bénite et localisation des Unités Fonctionnelles – Source pour le fond de carte : Google Maps.....	14
Figure 6 - Pompes de relèvement et conduite de refoulement.....	15
Figure 7 – Photo des tamiseurs de la station de Pierre Bénite (source : GRAND LYON)	15
Figure 8 - A gauche : déssableurs/Dégraissers en fonctionnement - A droite : Dessableur/Dégraissier vidé pour une exploitation de maintenance	16
Figure 9 - Photo des décanteurs lamellaires	16
Figure 10 – A gauche : vue aérienne de l'UF4 – A droite : Un dégazeur/puits à boue	17
Figure 11 – L'UF5 de la station de Pierre Bénite (Épaississeurs et Flottateurs).....	18
Figure 12 - Méthodologie générale.....	20
Figure 13 - Méthodologie de la phase d'Etat des Lieux	20
Figure 14 - Méthodologie pour les phases d'études de solutions d'amélioration du fonctionnement de la filière boue.....	21
Figure 15 - Filières possibles de traitement et de valorisation des boues (GUIBELIN, 2014)	23
Figure 16 - Schéma d'un épaisseur statique hersé (DEGREMONT, 2005).....	24
Figure 17 - Écorché d'une centrifugeuse à boues (source : DEGREMEONT/GUINARD).....	27
Figure 18 - Siccité des boues centrifugées – Source (DEGREMONT, 2005)	28
Figure 20 - Volumes journaliers de boues primaires et de boues biologiques extraites	30
Figure 21 - Flux massiques journaliers de boues primaires et de boues biologiques extraites.....	30
Figure 22 - Volumes journaliers de boues épaissies et de boues flottées extraites	31
Figure 23 - Flux massiques journaliers de boues épaissies et de boues flottées extraites.....	31
Figure 24 - Schéma de la stratégie de régulation de l'extraction des boues biologiques en place	32
Figure 25 - Bilan massique sur le flottateur en fonctionnement	33
Figure 26 - Charge massique journalière rapportée à la surface d'un épaisseur	34
Figure 27 - Flux massiques journaliers entrant et sortant de l'étape d'épaississement statique.....	35
Figure 28 - Etude de la gestion des épaisseurs en temps de pluie : mise en défaut des pompes en fonction du couple et de la consigne d'extraction.....	36
Figure 29 - Résumé des critères de gestion/régulation de la filière boue	40
Figure 30 - Schéma de la nouvelle stratégie de gestion des boues biologiques extraites et des boues flottées proposée	42
Figure 31 - Simulation pour différents scénarios du mode d'extraction des boues biologiques proposé : Volumes extraits au cours d'une journée et Débit instantané entrant dans le flottateur	47
Figure 32 - Mode de gestion fosses/centrifugeuses étudiées	50
Figure 33 - Scénarios pour étudier la gestion des volumes des modes de gestion fosses/centrifugeuses étudiés.....	50
Figure 34- Scénario 3 -Niveau dans la fosse 1 - En haut : Alimentation des centrifugeuses à 0,8 tMS/h - En bas : Alimentation des centrifugeuses à 1,2 tMS/h	51
Figure 35-Simulation des différents modes de gestion fosses/centrifugeuse: comparaison de l'évolution de la siccité des boues mixtes centrifugées	52
Figure 36 – Aménagements proposés : récapitulatif et estimation des impacts sur les équipes et des coûts financiers	56
Figure 37 - Phasage proposé pour la mise en œuvre des stratégies	57
Figure 38 - Récapitulatif des caractéristiques techniques des ouvrages de Pierre Bénite.....	62

Figure 39 - Illustration de la différenciation de l'extraction des boues biologiques	64
Figure 40 - Boues primaires produites et précipitation	65
Figure 41 - Exemple d'évolution du couple et du voile de boue dans un épaisseur lors d'un évènement pluvieux.....	66
Figure 42 - Extraction des boues - Mode Table de temps - Résultats de simulation.....	71
Figure 43 - Extraction des boues biologique - Mode Extraction avec temps d'arrêt à la fin - Résultats de simulation.....	72
Figure 44 - Résultats de simulations pour le Mode Table de Temps Dynamique lorsque le débit de référence de deux pompes est différent du débit réel.....	73
Figure 45 - Schéma d'une fosse d'homogénéisation (unité : mm).....	74
Figure 46 - Volume dans les bâches de boues mixtes en fonction de la hauteur.....	74
Figure 47 - Simulation Scénario Vmin	77
Figure 48 - Simulation Scénario Vmoy	77
Figure 49 - Simulation Scénario Vmax.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1– Flux maximaux imposés par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000	13
Tableau 2 – Concentrations maximales imposées par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000	13
Tableau 3– Rendement du traitement primaire en temps de pluie imposé par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000	14
Tableau 4 – Épaisseurs statiques: Charge massique au radier maximale.....	25
Tableau 5 – Comparaison Installations disponibles / Installations en exploitation.....	29
Tableau 6 – Etude du respect des règles de bonne gestion des épaisseur	37
Tableau 7 - Débit d'alimentation des centrifugeuses en fonction de la charge d'alimentation.....	38
Tableau 8 - Caractéristiques moyennes du fonctionnement des centriugeuses	39
Tableau 9 - Comparaison des modes de gestion d'extraction des boues biologiques	43
Tableau 10 - Scénarios simulés pour l'extraction des boues biologiques.....	45
Tableau 11 - Volumes de stockage nécessaire - Fonctionnement à 2 centrifugeuses.....	53
Tableau 12 - Volumes de stockage nécessaires – Fonctionnement à 3 centrifugeuses	53
Tableau 13 - Proposition de réglage de niveaux pour l'Arrêt/Marche des centrifugeuses	54
Tableau 14- Paramètres d'ajustement du pilotage d'une centrifugeuse en fonction des caractéristiques de la boue déshydratée et du centrat (MOATAMRI, 2003)	63
Tableau 15- Détail de l'étude des évènements pluvieux	67
Tableau 16 - Débits de référence et débits réels considérés.....	73
Tableau 17 - Niveaux de consigne proposés	77

INTRODUCTION

En France, ce sont désormais 10 000 stations de traitement des eaux usées qui produisent chaque année plus d'un million de tonnes de Matières Sèches (1,5 Mt en 2010 selon le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie).

Ces chiffres imposants permettent de mettre en avant le fait que le traitement des boues est un élément central du fonctionnement des stations d'épuration. En ce sens, et dans un souci d'amélioration continue, la direction de la Station d'épuration de Pierre Bénite a décidé de lancer un travail d'étude visant à optimiser le fonctionnement de sa filière boue. Dotée d'une capacité de 950 000 EH, l'usine de Pierre Bénite est un site majeur de l'assainissement de la Métropole du Grand Lyon. Gérée en régie, son fonctionnement nécessite 70 personnes pour en assumer l'exploitation. La filière boue de l'usine fonctionnant en flux tendu, l'objectif de ce travail est de trouver des solutions pour à la fois optimiser le traitement des boues et permettre une plus grande souplesse d'exploitation.

Pour atteindre cet objectif, la méthodologie employée s'est d'abord basée sur un état des lieux détaillé. Cette phase diagnostique a constitué à récolter les données de supervision mais aussi les habitudes de pilotage des équipes de conduite. S'en est alors suivi un traitement des données permettant d'établir un bilan de la gestion des flux et une analyse des performances des procédés de la station, en mettant l'accent sur les flottateurs, les épaisseurs, les fosses de mélange et les centrifugeuses.

A la suite de ce diagnostic, la seconde phase du travail a été d'étudier puis de proposer des solutions concrètes d'optimisation de la filière boue. Ces solutions ne concernent pas la nature des procédés de traitement mais leur gestion et la stratégie de pilotage. Pour tester différents modes de gestion possible, des outils de simulation simples ont été développés. Ils s'appuient sur des bilans de volume et de matière pour simuler pas de temps par pas de temps les différents modes de gestion étudiés.

Cette phase d'étude, associée à un travail d'échange avec les équipes d'exploitation, a permis d'aboutir à la proposition de solutions d'optimisation concrètes. Les aménagements à réaliser pour pouvoir mettre en place ces stratégies ont alors été évalués d'un point de vue économique et organisationnel.

Ce rapport de stage présente dans un premier temps la structure d'accueil et le fonctionnement de la station de Pierre Bénite. Il détaille ensuite les objectifs du stage, son périmètre d'étude et la méthodologie employée. Après une section consacrée à une synthèse bibliographique (centrée sur les procédés exploités sur la station), ce mémoire présente les résultats de l'état des lieux de la filière boue puis les résultats de l'étude de solutions d'aménagement. Enfin, les propositions finales sont détaillées.

I. CONTEXTE DU STAGE

Cette section s'attache à préciser le contexte du stage, en décrivant la structure d'accueil, puis le site de la station de Pierre Bénite.

I.1. La métropole du Grand Lyon

Créée le 1^{er} Janvier 2015, la métropole du Grand Lyon est une collectivité territoriale dont les missions regroupent celles du département du Rhône et celle de l'ancienne communauté urbaine de Lyon.

Le Grand Lyon gère un territoire de 538 km² comprenant 59 communes et 1,3 million d'habitants. C'est un territoire majoritairement urbain, comprenant toutefois 40 % d'espaces naturels et agricoles.

Les missions de la métropole sont regroupées au sein des délégations suivantes :

- La délégation Développement Urbain et Cadre de Vie
- La délégation Territoires et Partenariats
- La délégation Développement économique, emploi et savoirs
- La délégation Développement solidaire, habitat et éducation
- La délégation Ressources

Les délégations s'organisent autour de Directions et de Direction Adjointe puis de Services et d'Unités.

Le stage s'est déroulé au sein de la délégation Développement Urbain et Cadre de vie, à la Direction Adjointe Eau, dans le service Eau Usines et Service et à l'unité « Usine de Pierre Bénite » (voir Figure 1 et Figure 2).

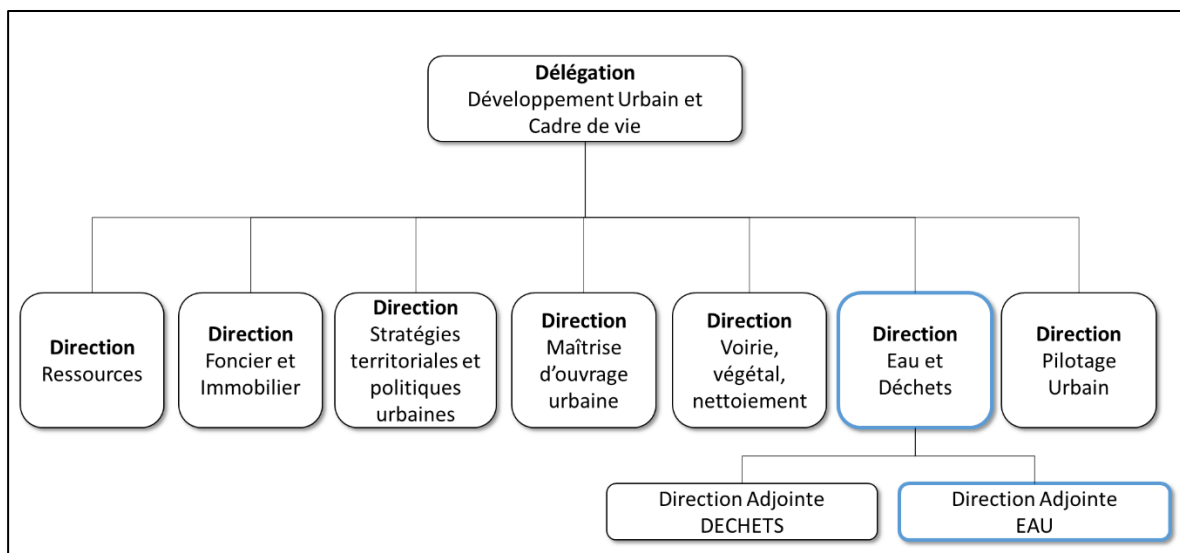


Figure 1- Organigramme de la délégation Développement Urbain et Cadre de Vie et de la Direction Eau et Déchets

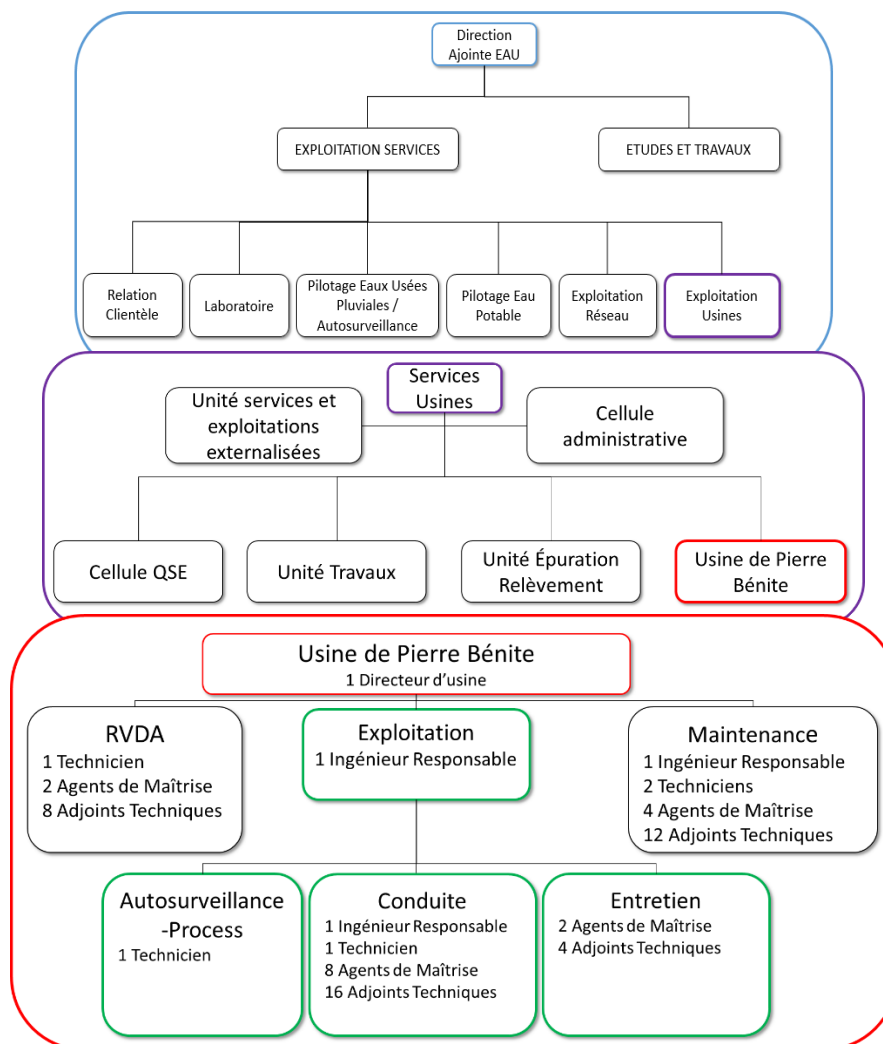


Figure 2 - Organigramme de la direction Ajointe Eau, du service ESU (Eau Service Usines) et de la station de Pierre Bénite

La station de Pierre Bénite est gérée en Régie par la métropole du Grand Lyon.

Au total, 70 personnes qui travaillent au sein de l'unité de Pierre Bénite. Les équipes dédiées à la station d'épuration se décomposent de la manière suivante :

Le pôle Réception et Valorisation des Déchets d'Assainissement (RVDA) a la charge de gérer la réception des matières entrant sur la station pour y être traitées. Il gère également tous les départs de matières vers des centres d'enfouissement ou de valorisation agréée pour les déchets finaux (cendres d'incinération, refus de dégrillage...).

Le pôle Entretien s'occupe des réparations et petits travaux sur site pour lesquels il n'est pas nécessaire de faire appel à un prestataire extérieur. Les équipes Entretien sont également formées à la conduite et peuvent venir en soutien aux équipes d'exploitation.

Le pôle Conduite gère le pilotage de la station. L'incinération fonctionnant de manière continue, la présence permanente d'une équipe de conduite sur site est nécessaire. En raison de cette contrainte, les équipes fonctionnent en 3/8. La station fonctionne avec 8 équipes de 3 agents.

Les équipes de conduite sont composées d'un agent de maîtrise et de deux adjoints techniques. La composition des équipes est fixe, sauf en cas de congés, maladie ou formation.

Le pôle Autosurveillance/Process gère le suivi des installations (performances, conformité). Le responsable Autosurveillance assure aussi un suivi du fonctionnement des bassins biologiques grâce à des observations microscopiques régulières et à la mesure de l'Indice de boue. Grâce à cette surveillance, il assiste les équipes de conduite dans le pilotage de l'étape de traitement biologique.

I.2. Fonctionnement de la station de traitement des eaux de Pierre Bénite

La station de Pierre Bénite est une des deux principales stations de traitement des Eaux de la métropole du Grand Lyon. Afin de satisfaire aux nouvelles exigences environnementales, elle a été modernisée en 2006 et possède désormais une capacité de traitement de 950 000 EH pour un débit de référence de 300 000 m³/j.

Cette section présente ses principales caractéristiques et son fonctionnement.

I.2.1. Situation géographique

La station est située au Sud de Lyon, sur la rive Ouest du Rhône, dans lequel elle rejette les effluents traités.



Figure 3 - Bassin versant et localisation de la station d'épuration de Pierre Bénite

I.2.2. Charges à traiter

La station reçoit les effluents de 35 communes du Grand Lyon et de l'Ouest Lyonnais par le biais de réseaux essentiellement unitaires. Le fonctionnement de la station est donc fortement influencé par les conditions météorologiques.

Les effluents reçus par le réseau sont essentiellement domestiques. La part d'Eaux Claires Parasites est estimée à 40% (GRAND LYON, 2014).

D'autre part, la station reçoit également des matières extérieures : matières de vidange d'ANC, produits de curage du réseau, graisses et boues épaissies provenant d'autres stations.

I.2.2.1. Charges et volumes journaliers caractéristiques

Le débit nominal de la station est, comme mentionné précédemment, de 300 000 m³/j.

La station, grâce à un écrêtage placé entre les premières étapes de traitement et l'étape de traitement biologique, peut prétraiter 600 000 m³/j en temps de pluie. Ce prétraitement inclus : le dégrillage grossier, le dégrillage fin et l'étape de dessablage/dégrillage (voir section I.2.3.2).

Paramètres	Valeurs de référence
Volume journalier en m ³	300 000
Flux journalier en MEST en kg	78 000
Flux journalier en DBO5 en kg	57 000
Flux journalier en DCO en kg	131 000
Flux journalier en Nk en Kg	10 000
Débit de pointe de temps sec traité en m ³ /s	3,5
Débit de pointe de temps de pluie traité en m ³ /s	7

Figure 4 – Valeurs de référence de la station de Pierre Bénite

• Pour le débit de référence de 300 000 m³/j :

Toutes les eaux de temps de pluie, jusqu'au débit maximal de 300 000 m³/j doivent être intégralement traitées. Les obligations de traitement sont fixées pour la station de Pierre Bénite par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000. Elles sont reprises dans les tableaux suivants :

Paramètres	Flux qui ne peut être dépassé pendant une période de 24H consécutives	
MEST	kg	10 500
DBO5	kg	7 500
DCO	kg	37 500
Nk	kg	3 000

Tableau 1– Flux maximaux imposés par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000

Paramètres	Unité	Concentration qui ne peut être dépassé pendant une période de 24H consécutives	
		Maximale	Moyenne sur 24 heures consécutives
MEST	kg	85	35
DBO5	kg	50	25
DCO	kg	250	125
N-NH4	kg	12	5
Nk	kg	15	10

Tableau 2 – Concentrations maximales imposées par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000

- **Par temps de pluie pour un débit compris entre 300 000 et 600 000 m³/j**

Les eaux excédentaires de temps de pluie, d'un débit maximal de 300 000 m³/j doivent subir un traitement primaire qui respecte les rendements suivants :

Paramètres	Rendement minimum
MEST	60%
DBO5	25%
DCO	25%

Tableau 3– Rendement du traitement primaire en temps de pluie imposé par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000

1.2.3. Fonctionnement de la station

Afin de bien appréhender le contexte du stage, cette section s'attache à décrire le fonctionnement de la station de Pierre Bénite au travers d'une description de :

- La filière Eau
- La filière Boue
- La filière Traitement des matières extérieures
- La filière Traitement de l'Air

1.2.3.1. Présentation générale

Le traitement de l'eau en place sur Pierre Bénite est basé sur un procédé de traitement biologique par boue activée, fonctionnant à faible charge. Les boues sont éliminées par incinération.

Les étapes de traitement sur le site sont regroupées sous des unités appelés Unités Fonctionnelles (« UF ») dont l'implantation est présentée en Figure 5. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants. Par ailleurs les principales caractéristiques des ouvrages de la station sont résumées à l'ANNEXE 1.

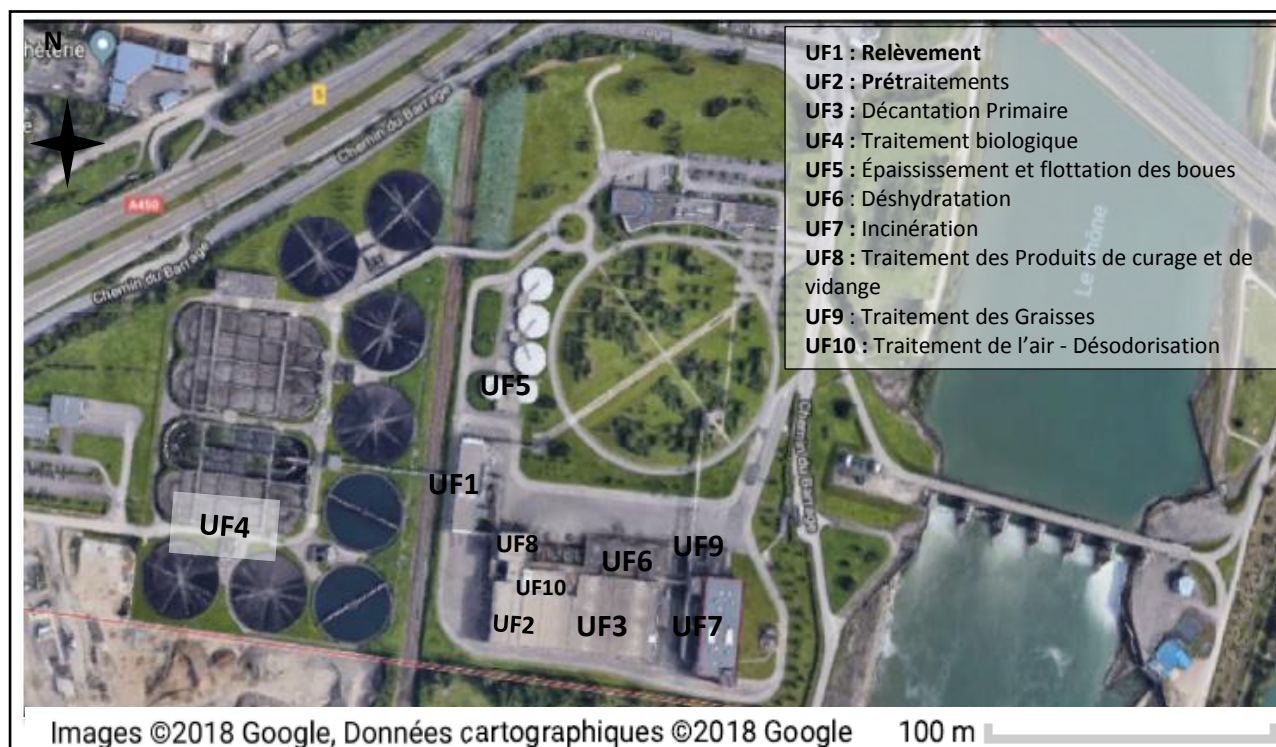


Figure 5 - Vue d'ensemble de la station de Pierre Bénite et localisation des Unités Fonctionnelles – Source pour le fond de carte : Google Maps

I.2.3.2. Filière Eau

Les différentes étapes de la file Eau sont regroupées dans les unités fonctionnelles suivantes :

UF1 : Dégrillage grossier / Relèvement

UF2 : Prétraitement : dessablage/dégraissage

UF3 : Décantation Primaire

UF4 : Traitement biologique par boues activées

UF1 : Dégrillage grossier et relèvement

Arrivée

Les effluents arrivent à la station via un collecteur principal et deux canalisations provenant d'Irigny et Vernaison. La station possède, comme il est d'usage, un déversoir en tête de station, afin de pouvoir protéger les installations en cas de débit d'eau brute trop important.

Dégrillage grossier

En aval de ces deux fosses se trouve l'étape de dégrillage grossier. L'espacement entre les barreaux est de 60 mm. Les déchets retenus sont transportés via un tapis transporteur pour être stockés dans des bennes avant évacuation.

Relèvement

Suite à l'étape de dégrillage grossier, l'eau est dirigée vers les bâches de relèvement. La station est équipée de 6 pompes centrifuges en fosse sèche + 1 de secours. Ces pompes relèvent l'eau d'une trentaine de mètres afin d'assurer un écoulement gravitaire sur le reste de la file Eau. Les pompes ont une capacité unitaire de 4200 m³/h.



Figure 6 - Pompes de relèvement et conduite de refoulement

UF2 : Pré-traitement

L'Unité Fonctionnelle 2 regroupe les étapes de tamisage fin et de dessablage/dégraissage. Le comptage et les prélèvements réglementaires automatiques se font après la partie tamisage.

Tamisage fin

L'eau est tamisée par 5 dégrilleurs automatiques (Figure 7) possédant un entrefer de 6 mm. Les refus de dégrillages sont acheminés par vis, compactés puis stockés dans des bennes avant évacuation.



Figure 7 – Photo des tamiseurs de la station de Pierre Bénite (source : GRAND LYON)

Comptage et prélèvement

L'eau brute est comptée grâce à un canal Venturi. Celui-ci est placé après l'étape de dégrillage fin pour ne pas perturber la mesure par la présence de flottants ou de dépôt. La prise d'échantillons est assurée par un préleveur automatique.

Dessablage/Dégraissage

L'étape de dessablage-dégraissage est assurée par 6 bassins longitudinaux (Figure 8).

Pour permettre la flottation des graisses, les bassins disposent d'un système d'injection d'air produisant des microbulles. Les corps gras sont récupérés par raclage puis stockés dans des fosses à graisses.

Les sables se déposent au fond des ouvrages et sont récupérés par un système d'air lift. Ils sont dirigés vers la fosse à sable avant d'être traités puis valorisés (voir I.2.3.4).

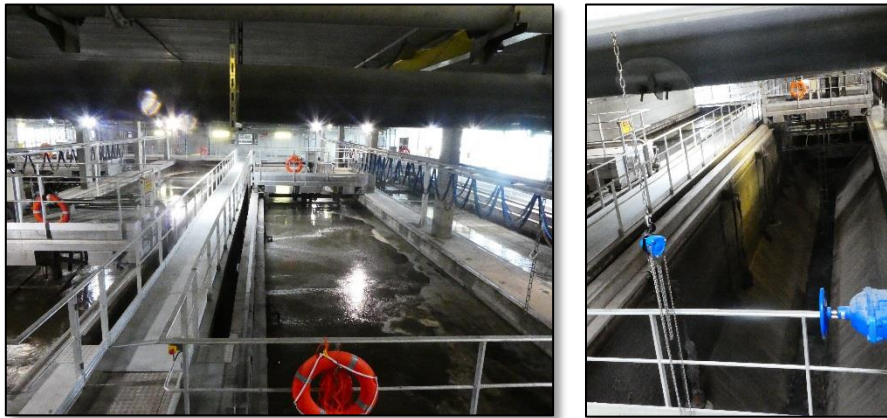


Figure 8 - A gauche : dessableurs/Dégraisseurs en fonctionnement - A droite : Dessableur/Dégraissier vidé pour une exploitation de maintenance

UF3 : Décantation primaire

L'UF 3 correspond à l'étape de décantation primaire. Celle-ci est réalisée par 6 décanteurs lamellaires (Figure 9). En temps sec, 2 décanteurs sont en exploitation alors qu'en temps de pluie les 6 décanteurs sont en service. Les boues primaires sont pompées depuis le fond des bassins vers les épaisseurs (voir I.2.3.3).



Figure 9 - Photo des décanteurs lamellaires

UF4 : Traitement biologique

Après l'étape de décantation primaire, les eaux sont dirigées vers l'étape de traitement biologique. Le traitement en place sur la station de pierre bénite est un procédé à boues activées. L'objectif de cette étape est de d'éliminer la pollution azotée et la pollution organique dissoute.

Un by-pass permet de limiter le débit introduit à l'UF4 à 12 600 m³/h soit environ 300 000 m³/j.

Bassins d'aération

La station de Pierre Bénite possède 4 files de traitement biologique. Chaque file est composée d'un bassin d'aération de 30 000 m³. Les bassins sont des chenaux aérés de manière syncopée. Afin de limiter la prolifération de bactéries filamenteuses, chaque bassin possède une zone de contact de 712 m³.

Clarification

Au sein des clarificateurs, l'eau issue des bassins biologiques est décantée. L'eau clarifiée est évacuée par surverse puis dirigée vers le Rhône après comptage. Chaque bassin d'aération est relié à deux clarificateurs d'un diamètre de 55 m.

Dégazage/Puits à boues

Les boues sont reprises au niveau des clarificateurs grâce à des tubes suceurs et sont dirigées vers des dégazeurs/puits à boues (voir photo en Figure 10). Les boues sont : soit recirculées via les pompes de recirculation soit extraites puis dirigées vers l'étape de flottation (voir I.2.3.3).



Figure 10 – A gauche : vue aérienne de l'UF4 – A droite : Un dégazeur/puits à boue

I.2.3.3. Filière boue

Les Unités fonctionnelles composant la filière boues sont :

- **L'UF5** : qui regroupe les procédés de flottation des boues biologiques et d'épaississement statique des boues primaires
- **L'UF6** : qui consiste en la phase d'homogénéisation des boues mixtes puis de déshydratation par centrifugation
- **L'UF7** : qui est l'unité d'incinération des boues (et de co-produits extérieurs)

UF5 : Épaississement des boues primaires et flottation des boues biologiques

L'UF5 (Figure 11) comprend deux types d'ouvrages différents :

- Les épaisseurs statiques, visant à épaisser les boues décantées issues de la décantation primaire
- Les flottateurs, permettant d'épaisser les boues biologiques extraites des puits à boues



Figure 11 – L'UF5 de la station de Pierre Bénite (Épaisseurs et Flottateurs)

Épauissement des boues primaires

Les boues primaires issues des décanteurs lamellaires sont concentrées via une étape d'épauissement statique. Pour cela, la station possède trois épauisseurs hersés. Chacun de ces ouvrages possède une surface au miroir de 297 m² et une hauteur de 3 m. Les boues épauissées sont récupérées en fond d'ouvrage puis redirigées vers les fosses de mélange de boues (UF6). Les eaux de surverses sont redirigées vers le poste Toutes Eaux Boues.

L'épauisseur 1 possède deux pompes, dont une est réservée au secours. Les épauisseurs 2 et 3 sont chacun équipés d'une pompe et mutualisent une pompe de secours. Les pompes d'extraction des boues épauissées sont des pompes à débit variable d'un débit nominal maximal de 80 m³/h.

Flottation des boues biologiques

La station possède deux flottateurs biologiques. La station de Pierre Bénite est équipée de flottateur à air dissous (FAD) avec un système de pressurisation indirecte. Un polymère est injecté pour faciliter la flottation des boues (voir section III.4 pour plus de détails sur le fonctionnement d'un flottateur).

UF6 : Déshydratation des boues

L'étape de déshydratation est réalisée par centrifugation.

Mélange et stockage des boues flottées et des boues épauissées

La station possède deux fosses d'homogénéisation d'un volume utile unitaire de 300 m³ où sont mélangées les boues épauissées et les boues flottées.

Déshydratation des boues

La station possède 4 centrifugeuses. Elles ont une capacité hydraulique comprise entre 15 et 80 m³/h et une charge massique d'alimentation de 1 250 kgMS/h au maximum. La déshydratation est optimisée par l'ajout d'un polymère ajouté directement en amont des centrifugeuses. Les centrats sont redirigés vers le poste Toutes Eaux « boues ». Les boues déshydratées produites sont évacuées par l'intermédiaire de deux pompes à piston vers deux silos de stockage d'un volume utile unitaire de 240 m³.

UF7 : Incinération des boues

Deux lignes d'incinération sont installées sur le site d'une capacité unitaire de 2,6 TMS/h.

Les fours sont des fours à lit fluidisés. Ils sont alimentés par :

- Les boues déshydratées issues de la filière boue de Pierre Bénite
- Les boues déshydratées provenant de stations extérieures
- Les graisses produites sur la station et provenant de sites extérieurs

Lorsque l'auto-combustion n'est pas assurée par les matières incinérées, un appoint de gaz est possible.

Chaque four est relié à une file de traitement des fumées. Ces files sont composées : d'un électrofiltre, d'un quench, d'un laveur avec injection de soude et d'une filtration sur charbon actif avant rejet à la cheminée. Les rejets liquides issus de ce traitement des fumées sont traités dans une unité à part.

I.2.3.4. Filières de traitement des apports extérieurs

La répartition et le traitement des matières extérieures réceptionnées sur la station se fait de la manière suivante :

L'unité Fonctionnelle 8 (UF8) reçoit les matières de vidange et les produits de curage. Les matières de vidange sont dépotées, dégrillées puis stockées dans deux fosses agitées de 200 m³ chacune. Elles sont alors introduites en amont des dessableurs/dégraisseurs de manière progressive. Les sables des produits de curage sont classifiés puis valorisés, de même que les sables produits sur la station.

L'unité fonctionnelle 9 (UF9) reçoit Les boues déshydratées extérieures, stockés dans des silos avant incinération et provenant de stations de traitement d'eaux résiduaires urbaines et les graisses extérieures provenant notamment des bacs à graisses d'établissement de restauration. Ces dernières sont dépotées puis sont pompées vers une fosse à graisse où elles sont mélangées aux graisses intérieures, produites sur la station. Elles vont ensuite être dirigées vers deux concentrateurs à graisses. Une fois épaissies, elles sont alors incinérées avec les boues.

I.2.3.5. Filière Air

La station est équipée d'une filière de traitement de l'air (UF10) par traitement physico-chimique (lavage acide et basique) d'une capacité de 230 000 Nm³/h. Cette filière est essentielle car elle permet d'assurer la sécurité, le respect du voisinage et des conditions de travail acceptables.

II. PERIMETRE DE LA MISSION DE STAGE ET METHODOLOGIE

Cette section vise à introduire le travail réalisé en explicitant les objectifs du stage et le périmètre de la mission. Elle détaille d'autre part la méthodologie qui a été employée.

II.1. Périmètre d'étude

Le travail réalisé durant ce stage a été focalisé sur la filière boue, depuis la production des boues primaires à l'étape de déshydratation et de stockage dans les silos avant incinération.

L'optimisation de la gestion des décanteurs lamellaires n'a pas été abordée car ces ouvrages font l'objet d'une étude particulière, réalisée par un bureau d'études extérieur, visant à leur réhabilitation.

L'étape d'incinération n'a pas été étudiée mais pourrait faire l'objet d'un autre travail de fin d'études, en particulier en vue d'une optimisation énergétique.

II.2. Objectifs du stage

Les objectifs du stage étaient :

- D'identifier les éventuels points d'amélioration possibles dans la gestion des équipements et des flux de la filière
- De proposer des solutions concrètes permettant d'améliorer fonctionnement de la filière

II.3. Méthodologie

La méthodologie générale suivie pour cette étude est reprise dans le schéma suivant :

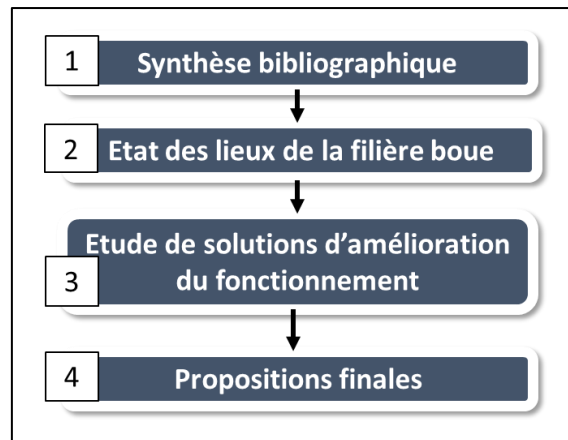


Figure 12 - Méthodologie générale

La première étape a été de réaliser un état de l'art (Figure 12 – Point 1). Cette étape a permis d'analyser par la suite avec plus de recul les données traitées pour finaliser l'état des lieux (Point 2). Ce dernier ailliant souligné certains points d'amélioration possibles, il a ensuite été étudié différentes solutions d'amélioration (point 3), avant d'aboutir à des propositions finales (point 4).

Les points 2, 3 et 4 sont précisés dans les pages suivantes.

❖ Méthodologie pour la réalisation de l'état des lieux de la filière boue

Le schéma présenté en Figure 13 permet de reprendre de manière synthétique la démarche entreprise dans le but de réaliser un état des lieux aussi pertinent que possible (point 2 de la Figure 12). Les points clés de cette phase ont été la collecte et le traitement des données.

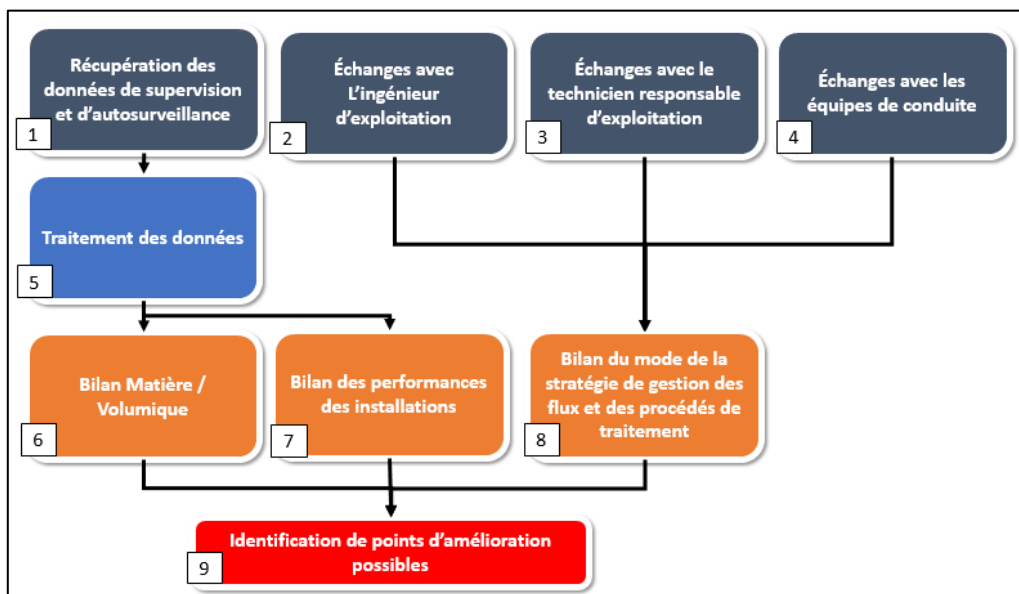


Figure 13 - Méthodologie de la phase d'Etat des Lieux

La récupération et le traitement de données de surveillance du process a permis de réaliser un bilan des flux volumiques et massiques mis en jeu sur les différentes étapes de traitement des boues.

En couplant ces données avec un recueil des manières de faire (points 2, 3, 4 de la Figure 13), il a été possible de compléter l'état des lieux et finalement d'identifier des points d'amélioration possibles (point 9).

Ces observations ont alors abouti à l'étude puis à la proposition de solutions d'optimisation de la filière.

❖ Méthodologie pour l'étude d'aménagement et la proposition de solutions

Dans l'objectif de proposer des solutions en accord avec la réalité terrain, des échanges réguliers ont eu lieu avec l'équipe d'exploitation (Figure 14 - Points 5,6 et 7).

D'autre part, pour pouvoir tester différents modes de gestion sans perturber l'exploitation, deux outils de simulation ont été développés (Figure 14 - point 2). Ces outils simples, basés sur des bilans volumiques et massique et sur des itérations pas de temps par pas de temps, ont permis de simuler :

- Différents modes de gestion de l'extraction des boues biologiques
- Différents modes de gestion des fosses de mélange des boues et des centrifugeuses

La synthèse des résultats de simulations et des échanges avec les équipes d'exploitation a permis d'aboutir à des propositions finales (Figure 14 – Point 10). Ces propositions préconisent de nouvelles stratégies de pilotage et indiquent les aménagements et le phasage nécessaires pour y parvenir, permettant de lever les points bloquants identifiés.

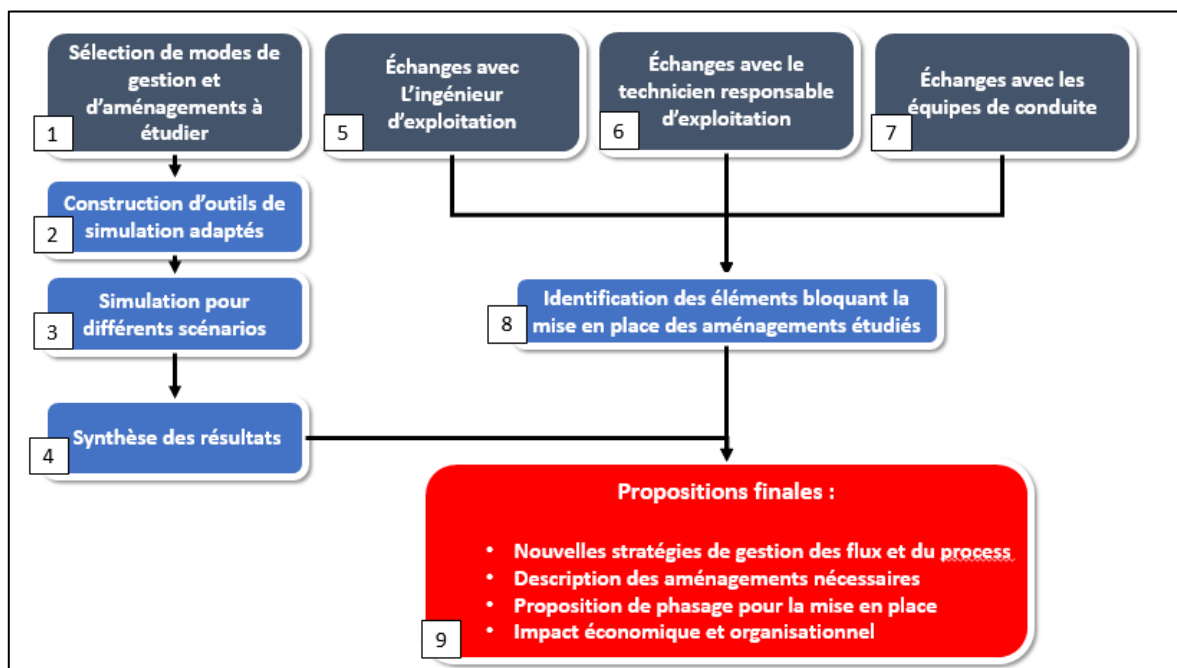


Figure 14 - Méthodologie pour les phases d'études de solutions d'amélioration du fonctionnement de la filière boue

III. ETAT DE L'ART SUR LE TRAITEMENT DES BOUES DE STATION D'EPURATION

Cette section est une synthèse bibliographique portant sur le traitement des boues de station d'épuration. Après une partie générale sur la nature des boues et leurs possibles valorisations finales, cette section se focalise sur les procédés mis en œuvre sur l'usine de Pierre Bénite :

- Les épaisseurs statiques
- Les flottateurs
- La déshydratation par centrifugation

Ce choix de réduire le champ de l'état de l'art se justifie par le fait que la mission n'a pas concerné un changement de la nature du process, mais bien une amélioration dans la gestion de l'existant. En ce sens, la réalisation d'un état de l'art centré sur les installations en place prend son sens et permet d'appréhender au mieux les enjeux et les leviers potentiels d'amélioration concernant le fonctionnement de la filière boue de la station de Pierre Bénite.

III.1. Synthèse bibliographique sur la composition des boues d'épuration

Les boues produites sur une station d'épuration peuvent être classées dans trois catégories :

- **Les boues primaires**
- **Les boues biologiques**
- **Les boues physico-chimiques**

Les boues primaires sont les boues issues d'une étape de décantation primaire. Elles contiennent des matières hétérogènes et peuvent être riches en matières minérales. Elles peuvent être composées de 65% à 70% de matières organiques hautement fermentescibles (GUIBELIN, 2014).

Les boues biologiques ou boues secondaires sont issues de l'étape de clarification après traitement de l'eau par un procédé biologique. Essentiellement constituées de matières organiques (jusqu'à 75%), elles sont principalement composées de corps bactériens et de leurs sécrétions (RAMDANI, 2007).

Lorsque les boues primaires et les boues mixtes sont mélangées, on parle alors de boues mixtes.

Les boues physico-chimiques sont issues d'une étape de décantation avec ajout d'un réactif induisant un phénomène de coagulation/floculation.

III.2. Synthèse bibliographique sur la gestion des boues d'épuration

Ce paragraphe détaille les valorisations possibles pour les boues et les principales voies de traitement possibles.

III.2.1. Valorisation finale

Il existe deux principales filières de valorisation finale des boues issues de l'assainissement :

- La valorisation agricole via l'épandage
- La valorisation énergétique via l'incinération

Le stockage en Centre d'Enfouissement Technique (CET) peut également être envisagé dans le cas où les boues sont polluées et peuvent être considérées comme des déchets ultimes (Loi n° 92-646 du 13/07/92 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux ICPE). Elles doivent alors contenir au moins 30 % de matières sèches et le lixiviat et le biogaz produits par leur décomposition doit être suivis (Arrêté du 09/09/97 modifié le 19/01/06).

Le choix de la valorisation finale des boues doit prendre en compte :

- ✓ Le contexte régional : possibilité de valorisation agricole, centres de traitement à proximité...
- ✓ La nature des boues (boues primaires, boues biologiques, boues mixtes...)
- ✓ Les contraintes propres au site d'exploitation

III.2.2. Principales filières de traitement

La filière boue des stations doit être adaptée au choix de la valorisation finale. La Figure 15, ci-dessous, reprend les différentes étapes possibles de traitement des boues avant valorisation finale.

L'ensemble des procédés vise à minimiser le volume de boue pour :

- ✓ Minimiser la pollution olfactive et les risques sanitaires
- ✓ Faciliter le transport, la manipulation, le stockage ou l'incinération (selon la valorisation finale) en améliorant la texture de la boue

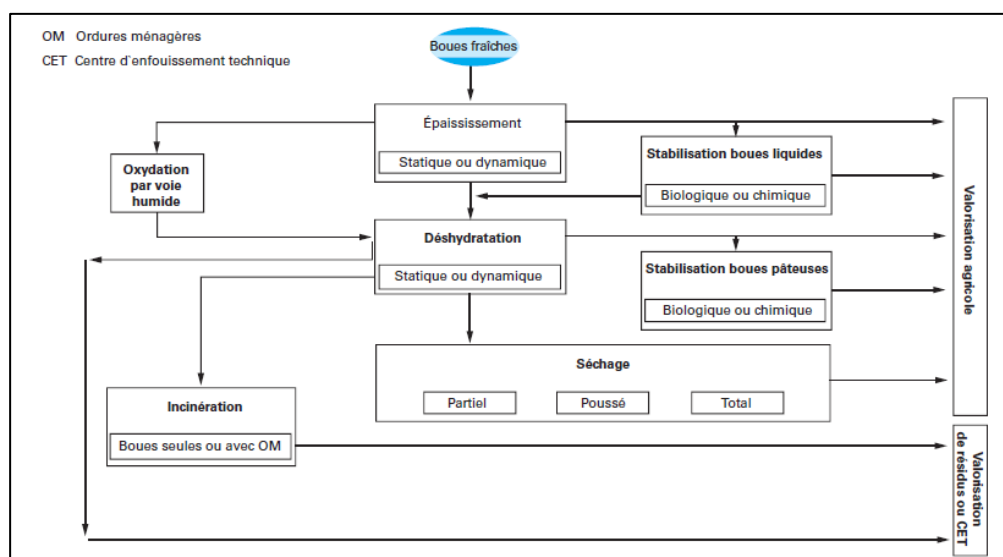


Figure 15 - Filières possibles de traitement et de valorisation des boues (GUIBELIN, 2014)

III.3. Synthèse bibliographique sur les épaisseurs statiques

Dans l'objectif de réduire le volume des boues à traiter, l'épaississement peut constituer une étape préalable à une déshydratation plus poussée. Il existe deux grands types de procédés d'épaississement :

- ✓ Les épaisseurs statiques : s'appuyant uniquement sur l'action de la gravité
- ✓ Les épaisseurs dynamiques : qui accélèrent par un apport d'énergie le processus de séparation liquide/solide.

Cette partie du rapport fait un état des lieux concernant les épaisseurs tandis que la partie suivante se penche sur les flottateurs.

III.3.1. Objectifs

Les procédés d'épaississement consistent à séparer la boue de l'eau interstitielle qu'elle contient. L'eau issue des boues est généralement redirigée vers la filière de traitement des eaux et représente une partie des « retours en tête ».

III.3.2. Principe de fonctionnement

L'épaississement statique repose sur le principe de décantation. Sous l'effet de la gravitation, les matières plus lourdes se concentrent dans la partie basse de l'ouvrage. Celui-ci est généralement de forme circulaire avec un radier pentu permettant de diriger les boues épaissies au centre et de les extraire plus facilement.

Selon (DEGREMONT, 2005), les épaisseurs statiques présentent de bonnes performances vis-à-vis des boues primaires. En revanche, les performances sont plus mitigées pour le traitement des boues biologiques.

Les ouvrages sont en principe équipés d'un dispositif tournant comprenant des lames racleuses et une herse (CANLER, et al., 2002). Les lames racleuses permettent de diriger les boues vers une fosse centrale. La herse a pour objectif :

- ✓ D'homogénéiser la boue épaissie en limitant le phénomène de stratification
- ✓ D'optimiser l'évacuation de l'eau interstitielle et de limiter la formation de poche d'eau dans la colonne de boue

S'ils sont utilisés avec des boues organiques susceptibles de fermenter, les ouvrages sont alors couverts et ventilés. L'air vicié est traité par un procédé de désodorisation.

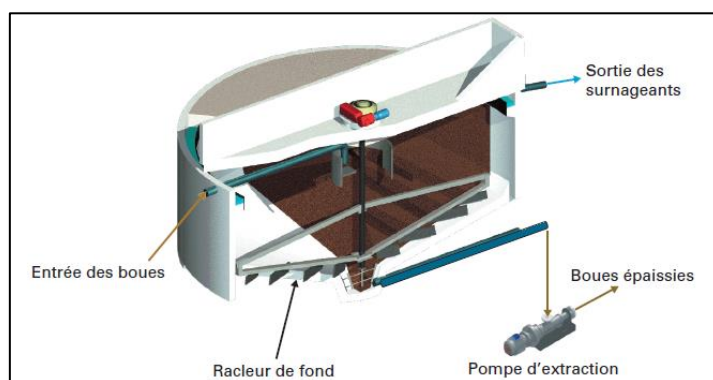


Figure 16 - Schéma d'un épaisseur statique hersé (DEGREMONT, 2005)

III.3.3. Critères de dimensionnement

Les épaisseurs statiques sont principalement dimensionnés en se basant sur les courbes de décantation de Kynch (DELAUNOIS & DASCOTTE, 2004) qui permettent de fixer une charge massique d'alimentation maximale en kgMS/m²/j. La surface de l'épaisseur est alors donnée par le rapport entre cette charge massique limite et la charge massique maximale reçue par l'épaisseur.

Les charges massiques au radier préconisées dans la littérature par (BLAZY, JDID, & BERSILLON, 1999) et (DEGREMONT, 2005) sont reprises dans le Tableau 4.

Type de boue	Flux massique kg.MES.j-1
ERU Primaire fraîche	75-120
ERU Mixte fraîche	45-75 (selon taux primaire)
ERU Aération prolongée	25-35

Tableau 4 – Épaisseurs statiques: Charge massique au radier maximale

III.3.1. Performances attendues

Les épaisseurs statiques permettent la production de boues épaissies possédant des concentrations en MES allant de 50 à 100 g/L. Les résultats sont bien sûr dépendants de la nature des boues et de la conduite du procédé.

III.3.2. Disfonctionnement possibles

Une mauvaise gestion des épaisseurs peut avoir des impacts négatifs importants sur le fonctionnement de la station d'épuration. Les épaisseurs étant couramment employés pour concentrer les boues primaires au caractère putrescible, il faut particulièrement éviter un temps de séjour trop important des boues dans les ouvrages.

Un temps de séjour trop important des boues peut provoquer l'évolution vers le milieu anaérobie et ainsi causer l'apparition d'AVG ou de sulfures, éléments favorables au développement de bactéries filamenteuses.

III.3.3. Règles de bonne gestion

Les règles de bonne gestion des épaisseurs mentionnées par (CANLER, et al., 2002) sont les suivantes :

- ✓ Maintien du voile de boue à environ 1/3 de la profondeur
- ✓ Dans le cadre d'une alimentation continue, la vitesse ne doit pas dépasser 0,5 m/h et ne pas excéder 1m/h.
- ✓ Le temps de séjour des boues ne doit pas dépasser 24h pour des boues primaires
- ✓ Séparation de la fonction Epaissement/Stockage
- ✓ Séparation de la fonction homogénéisation/Epaissement.
- ✓ L'introduction dans le même ouvrage d'un flux de boues primaires et de boues biologiques est à éviter : cela provoque une stratification de la boue au sein de l'épaisseur.

Les points de contrôle, essentiels pour piloter correctement les épaisseurs sont les suivants :

- ✓ La mesure du voile de boue
- ✓ Le contrôle des surverse : contrôle visuel et analyse des MES
- ✓ Le contrôle des boues épaissies : débit et concentration en MES

En termes de conduite, les épaisseurs ne demandent pas d'intervention quotidienne sur les ouvrages mais nécessitent un suivi attentif.

Pour limiter les fermentations dans le cadre d'un arrêt d'exploitation le weekend ou dans des régions chaudes, de la chaux est parfois ajoutée aux boues de station d'épuration.

III.4. Synthèse bibliographique sur les flottateurs

Les flottateurs font partie des procédés de séparation liquide/solides employés pour épaissir les boues. Contrairement aux épaisseurs statiques décrits à la précédente section, ils appartiennent à la catégorie des épaisseurs dynamiques.

III.4.1. Objectifs

L'objectif de la flottation est de concentrer des boues. Ce procédé est particulièrement adapté à des boues contenant des matières solides de faible densité comme les boues biologiques (DEGREMONT, 2005).

III.4.2. Principe de fonctionnement

Les unités de flottation à air dissous accélèrent la flottation des matières par l'injection de micro-bulles. Ces microbulles en remontant à la surface entraînent avec elles les particules solides.

Bien que les bulles d'air puissent être produites par électrolyse, ce système n'est aujourd'hui presque plus utilisé : la production de micro-bulles se fait aujourd'hui essentiellement par air dissous (CROSSLEY & VALADE, 2006).

Le principe de fonctionnement repose sur le fait que la solubilité de l'air dans l'eau augmente avec la pression : les unités de flottation par air dissous (FAD) possèdent donc un compartiment où sont mélangés de l'air et de l'eau. Sous l'effet de la pression, une partie de l'air va se solubiliser dans l'eau. L'eau est ensuite introduite et détendue dans le flottateur. La baisse de pression dans l'eau provoque alors une baisse de la solubilité air/eau et par conséquent la formation de bulles d'air.

Il existe deux grands types de système de flottation :

- ✓ Les systèmes avec une pressurisation directe : l'eau pressurisée est l'eau brute. Cette pressurisation est dite totale si toute l'eau brute est mise sous pression et partielle dans le cas contraire.
- ✓ Les systèmes à pressurisation indirecte dans le cas où l'eau pressurisée est l'eau traitée

Les avantages de la flottation sont les suivants :

- ✓ Gain de place (jusqu'à 10 selon (CROSSLEY & VALADE, 2006))
- ✓ Adaptation aux boues présentant des décantabilités faibles et des floccs fragiles : typiquement les boues biologiques (PERRET & CANLER, 2011)

III.4.3. Critères de dimensionnement

Le principal critère de dimensionnement est la charge massique au radier. Pour les boues biologiques, la charge massique maximale conseillée est de 4 à 5 kg MS/m²/h (voir 6 à 8 kg MS/m².h pour des boues flocculées).

III.4.4. Paramètres de contrôle importants

Afin d'assurer une bonne conduite des flottateurs, les paramètres importants à contrôler sont (DUC, 2009) :

- ✓ L'épaisseur de la croûte de boues flottées (entre 30 et 60 cm)
- ✓ Le débit de polymère
- ✓ Le débit de recirculation

III.5. Synthèse bibliographique sur la centrifugation

III.5.1. Principe de fonctionnement

La centrifugation est un procédé de séparation liquide/solide. Il peut être employé :

- ✓ En épaissement
- ✓ En déshydratation

La centrifugation vise à accélérer la vitesse de sédimentation des particules en augmentant artificiellement l'action de la pesanteur par l'application d'une force centrifuge aux particules (BONNEAU, 1998).

III.5.2. Description d'une centrifugeuse à boues type

Les centrifugeuses sont constituées :

- ✓ D'un point d'injection (Figure 17-1)
- ✓ D'un bol cylindro-conique (Figure 172) à axe horizontal tournant à grande vitesse
- ✓ D'une vis sans fin hélicoïdale disposée sur le même axe (Figure 17-3). Grâce à l'emploi d'un réducteur, la vitesse de la vis est légèrement supérieure à celle du bol : cela permet à la boue de progresser à l'intérieur du bol. La différence entre la vitesse de la vis et la vitesse du bol est appelée vitesse différentielle (V_r).

Par application de la force centrifuge, les particules lourdes vont être déposées sur la paroi inférieure du bol. La vis convoyeuse les dirige alors vers la partie conique.

La vitesse de la vis est légèrement plus importante que la vitesse du bol. La différence entre les deux est appelée vitesse différentielle. Elle est provoquée par l'usage d'un réducteur.

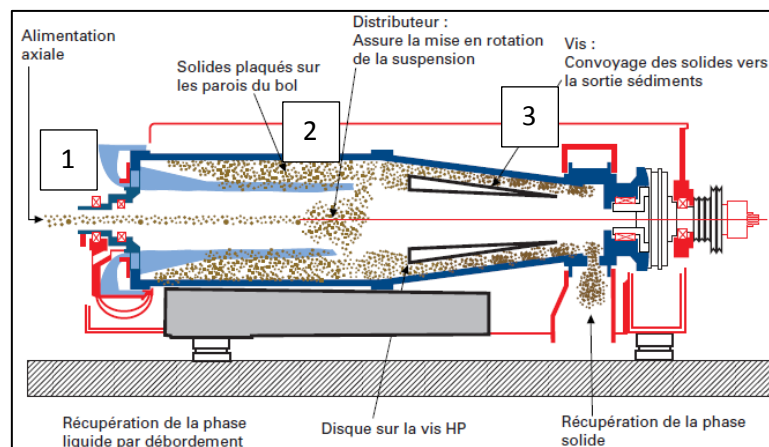


Figure 17 - Écorché d'une centrifugeuse à boues (source : DEGREMEONT/GUINARD)

III.5.3. Performances attendues

Les centrifugeuses permettent de fonctionner de manière continue et sont susceptibles d'être automatisées. Consommatrices d'énergie, les centrifugeuses permettent toutefois d'atteindre des siccités assez élevées (voir Figure 18).

Type de boue urbaine	Dosage polymère kg MA ⁽¹⁾ · t ⁻¹ MS	Siccité %
Aération prolongée avec déphosphatation simultanée	9-11	20-22
Aération prolongée avec boues tertiaires	10-12	19-20
Aération prolongée avec digestion	9-11	20-22
Primaire physico-chimique	6-7	29-34
Primaire physico-chimique + Biofor (15-35 %)	7-8	28-32
Mixte fraîche (P/Bio = 50/50) ⁽²⁾	8-9	25-27
Mixte fraîche (P/Bio = 65/35)	7-9	26-29
Mixte digérée (P/Bio = 50/50)	8-9	25-28
Primaire digérée	4-6	32-36

1. MA = matière active
2. P/Bio = rapport massique de boues primaires aux boues biologiques

Figure 18 - Siccité des boues centrifugées – Source (DEGREMONT, 2005)

Leur performance peut également être exprimée par le biais du taux de capture, défini comme suit :

$$TC = \left[1 - \frac{C_L * (C_S - C_A)}{C_A * (C_S - C_A)} \right] * 100$$

Avec :

C_L = concentration du liquide clarifié ou centrat (en % MES)

C_S = siccité du sédiment (en % MS)

C_A = concentration de la boue à l'entrée (en % MES)

Ce taux de capture est généralement compris entre 95% et 98%.

III.5.4. Pilotage d'une centrifugeuse

Les objectifs de fonctionnement des centrifugeuses sont :

- Une bonne siccité des boues
- Une clarification poussée du centrat
- Une consommation minimale de polymère

Les principaux paramètres de réglage d'une centrifugeuse sont :

- ✓ Le couple ou la vitesse relative (l'un influençant l'autre)
- ✓ Le taux de traitement (taux de polymère ajouté en kg/tMS)
- ✓ L'anneau d'eau

En fonction des qualités de la boue déshydratée et de l'aspect du centrat, ces paramètres peuvent être ajustés (voir ANNEXE 2).

IV. ETAT DES LIEUX DE LA FILIERE BOUE

L'état des lieux de la filière boue a été une étape essentielle pour pouvoir proposer par la suite des aménagements pertinents. Cette phase de diagnostic est constituée d'une partie « technique » avec l'analyse des performances des équipements en place et d'une partie « terrain » avec le recueil des différentes stratégies de pilotage mises en œuvre par les équipes de conduite.

L'état des lieux se décompose de la manière suivante :

- ✓ Validation du choix la filière
- ✓ Remarque sur le surdimensionnement de la station et ses conséquences
- ✓ Bilan volumique et bilan massique des flux de boues
- ✓ Etude de la gestion de l'extraction des boues biologiques
- ✓ Etude de la gestion de la phase d'épaississement
- ✓ Etude de la gestion de la phase de flottation
- ✓ Etude de la gestion des fosses de mélange des boues et des centrifugeuses
- ✓ Synthèse de l'étude et identification de points d'amélioration possibles

IV.1. Validation du choix de la filière

La valorisation des boues sélectionnée sur la station de Pierre Bénite est l'incinération. Ce choix est cohérent avec :

- Les volumes de boues et de produits extérieurs traités sur la station
- L'impossibilité de valorisation agricole à proximité de la station

La filière en place sur la station de Pierre Bénite (Epaississement + Déshydratation pour les boues primaires et Flottation + Déshydratation pour les boues biologique) est tout à fait en accord avec une valorisation par incinération. La production de boues primaires est justifiée par la volonté de prétraiter autant que possible les flux en temps de pluie. De leur côté, les étapes d'épaississement et de flottation sont respectivement bien adaptées aux boues primaires et aux boues biologiques (cf III.4).

IV.2. Surdimensionnement de la station et ses conséquences sur l'exploitation

La station de Pierre Bénite a été dimensionnée pour un débit nominal de 300 000 m³ et une charge de 950 000 EH (57 000 kg DBO₅). Cependant, alors que la charge hydraulique estimée se retrouve bien dans la réalité, la charge polluante arrivant à la station est largement inférieure à celle considérée pour le dimensionnement de la station. D'après le schéma directeur de l'Assainissement du Grand Lyon (GRAND LYON, 2014), il a été estimé que la charge entrant en 2014 à la station est de 524 300 EH. La conséquence directe de cette différence est la non-exploitation de la totalité des ouvrages de Pierre Bénite.

La comparaison entre les équipements présents sur la station et les équipements exploités est reprise dans le tableau suivant :

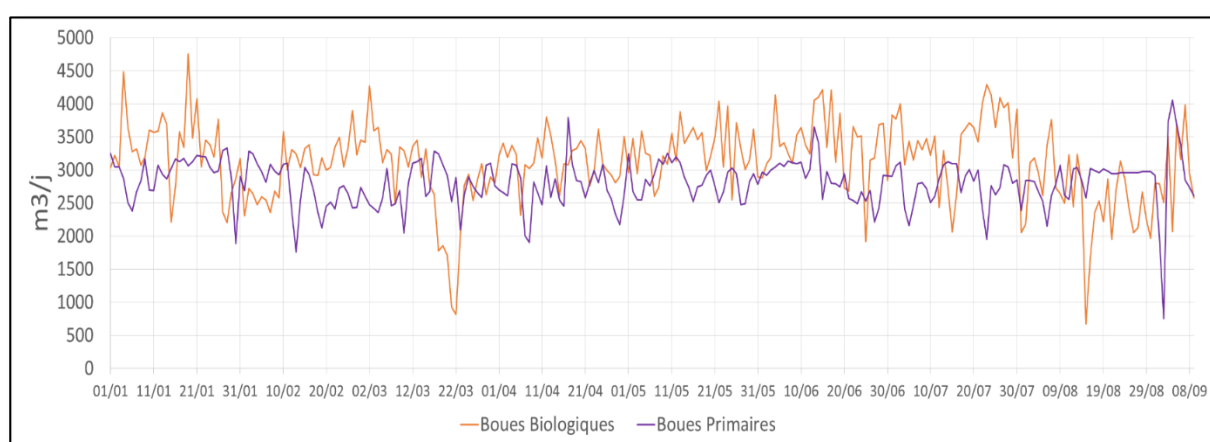
Installations	Disponibles sur le site	Exploités
<i>Décanteurs primaires</i>	6	2 en temps sec – 6 en temps de pluie
<i>Filières Biologiques</i>	4	3
<i>Flottateurs</i>	2	1
<i>Epaississeurs</i>	3	1 en temps sec – parfois 2 en Temps de Pluie
<i>Lignes d'incinération</i>	2	1

Tableau 5 – Comparaison Installations disponibles / Installations en exploitation

IV.3. Bilans volumiques et massiques

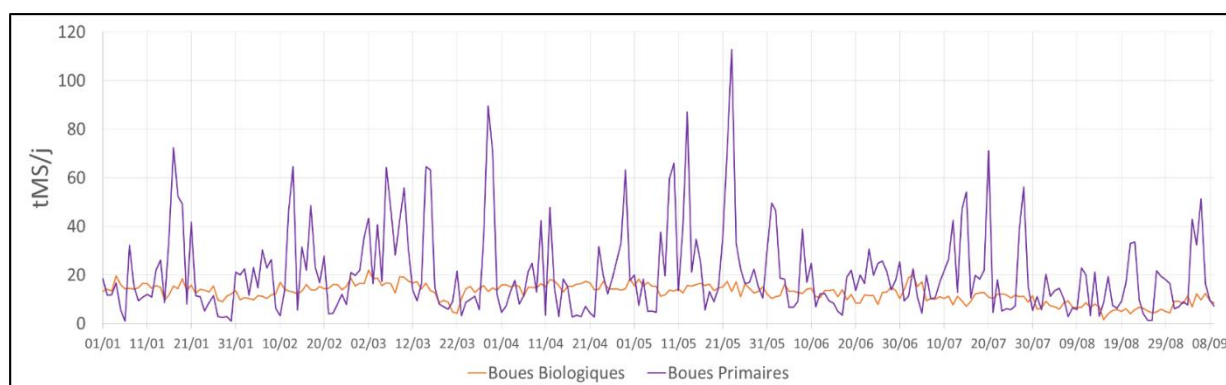
Afin de faire le point sur les flux massiques et volumiques en jeu sur la filière, un bilan de matière à l'échelle journalière sur la période allant du 1^{er} Janvier 2018 au 8 septembre 2018 a été réalisé. Cette période est intéressante car elle comprend des périodes de temps sec mais également des périodes de pluie.

- ✓ Les mesures de siccité sont réalisées 3 fois par jour (une fois par équipe d'exploitation en service). Elles sont complétées 3 fois par semaines par des mesures analysées en laboratoire.
- ✓ Pour réaliser ce bilan, les mesures prises en compte sont les mesures laboratoires lorsqu'elles sont disponibles, la moyenne des mesures terrain faites sur la journée sinon.
- ✓ Certaines valeurs, très incohérentes par rapport aux autres mesures de la journée, ont été écartées.



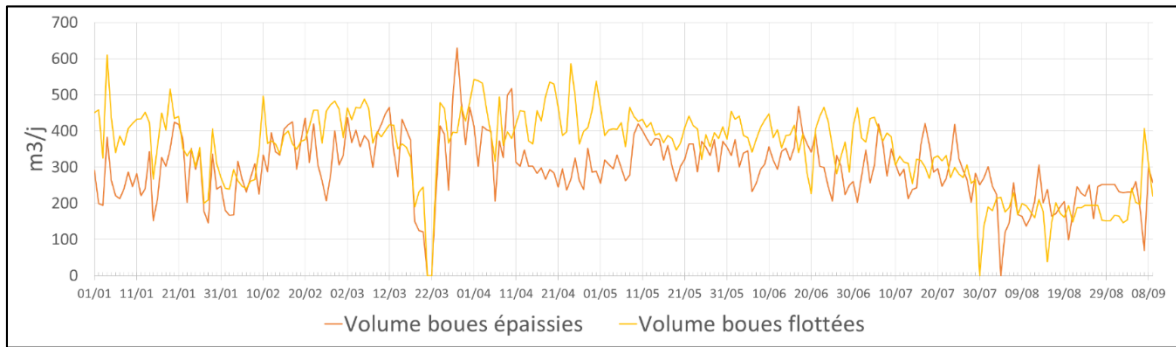
VOLUMES DE BOUES PRIMAIRES			VOLUMES DE BOUES BIOLOGIQUES EXTRAITES		
Vjournalier – Min	m ³ /j	750	Vjournalier – Min	m ³ /j	669
Vjournalier – Percentile 10	m ³ /j	2118	Vjournalier – Percentile 10	m ³ /j	2368
Vjournalier – Moyenne	m ³ /j	2651	Vjournalier – Moyenne	m ³ /j	3122
Vjournalier – Percentile 90	m ³ /j	3095	Vjournalier – Percentile 90	m ³ /j	3796
Vjournalier – Max	m ³ /j	4018	Vjournalier – Max	m ³ /j	4754

Figure 19 - Volumes journaliers de boues primaires et de boues biologiques extraites



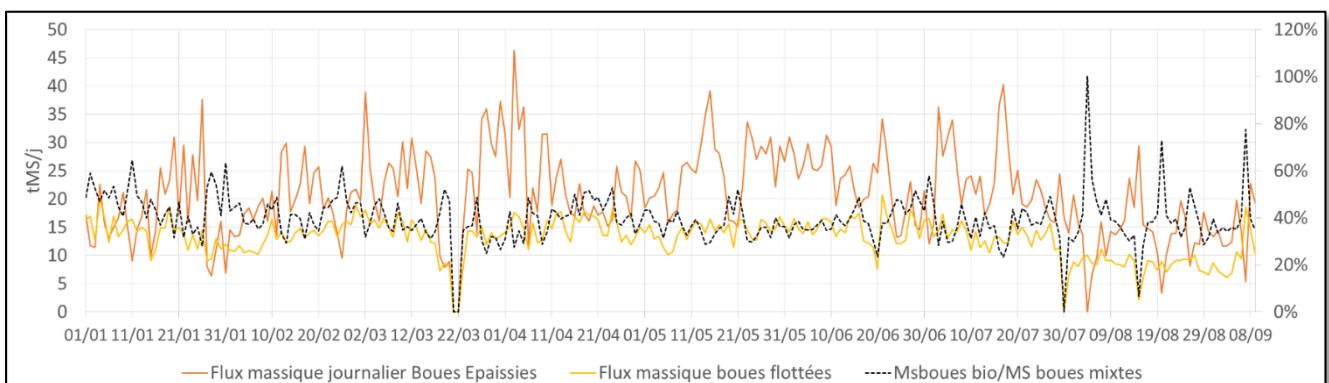
MASSES DE BOUES PRIMAIRES			MASSES DE BOUES BIOLOGIQUES EXTRAITES		
Flux journalier – Min	m ³ /j	1	Flux journalier – Min	m ³ /j	2
Flux journalier – Percentile 10	m ³ /j	5	Flux journalier – Percentile 10	m ³ /j	7
Flux journalier – Moyenne	m ³ /j	21	Flux journalier – Moyenne	m ³ /j	13
Flux journalier – Percentile 90	m ³ /j	47	Flux journalier – Percentile 90	m ³ /j	17
Flux journalier – Max	m ³ /j	113	Flux journalier – Max	m ³ /j	22

Figure 20 - Flux massiques journaliers de boues primaires et de boues biologiques extraites



BOUES EPAISSIES			BOUES FLOTTEES		
V journalier – Min	m³/j	69	V journalier – Min	m³/j	39
V journalier – Percentile 10	m³/j	191	V journalier – Percentile 10	m³/j	190
V journalier – Moyenne	m³/j	297	V journalier – Moyenne	m³/j	349
V journalier – Percentile 90	m³/j	405	V journalier – Percentile 90	m³/j	463
V journalier – Max	m³/j	630	V journalier – Max	m³/j	610

Figure 21 - Volumes journaliers de boues épaissies et de boues flottées extraites



BOUES EPAISSIES			BOUES FLOTTEES			MS Boues biologiques/MS Boues mixtes	
Flux journalier – Min	tMS/j	3	Flux journalier – Min	tMS/j	2	Min	25%
Flux journalier – Percentile 10	tMS/j	12	Flux journalier – Percentile 10	tMS/j	9	Percentile 10	31%
Flux journalier – Moyenne	tMS/j	21	Flux journalier – Moyenne	tMS/j	13	Moyenne	40%
Flux journalier – Percentile 90	tMS/j	31	Flux journalier – Percentile 90	tMS/j	17	Percentile 90	51%
Flux journalier – Max	tMS/j	46	Flux journalier – Max	tMS/j	21	Max	65%

Figure 22 - Flux massiques journaliers de boues épaissies et de boues flottées extraites

En dehors de l'aspect purement quantitatif, ce bilan permet de mettre en relief les éléments suivants :

- ✓ La filière « Boue biologiques » / « Boues flottées » présente une forte stabilité au long de l'année. Cette stabilité est due à l'écrêtage entre le pré-traitement et le traitement biologique. Le volume important des bassins contribue également à lisser les perturbations à l'arrivée.
- ✓ Au contraire, la production de boues primaires et donc de boues épaissies est fortement variable. Cette fluctuation s'explique en particulier par l'impact des conditions pluviométriques sur la nature des effluents.

Les résultats de ce bilan doivent être manipulés avec précaution car :

- ✓ Il a été négligé les matières solubles pour convertir les mesures de concentration en mgMES/l en siccité.
- ✓ Les mesures de volume sont soumises aux imprécisions des débitmètres électromagnétiques installés sur le site.
- ✓ Ces siccités mesurées sur sites sont soumises à une imprécision du fait d'un biais opérateur ainsi que de la difficulté d'échantillonnage

IV.4. Bilan de fonctionnement de l'extraction des boues biologiques

L'analyse des données mais également des entretiens avec différents membres de l'équipe d'exploitation (Figure 13 – Points 2, 3 et 4) ont permis de faire le point sur le mode de conduite de l'extraction des boues biologiques, décrit à la Figure 23 et dans les paragraphes ultérieurs.

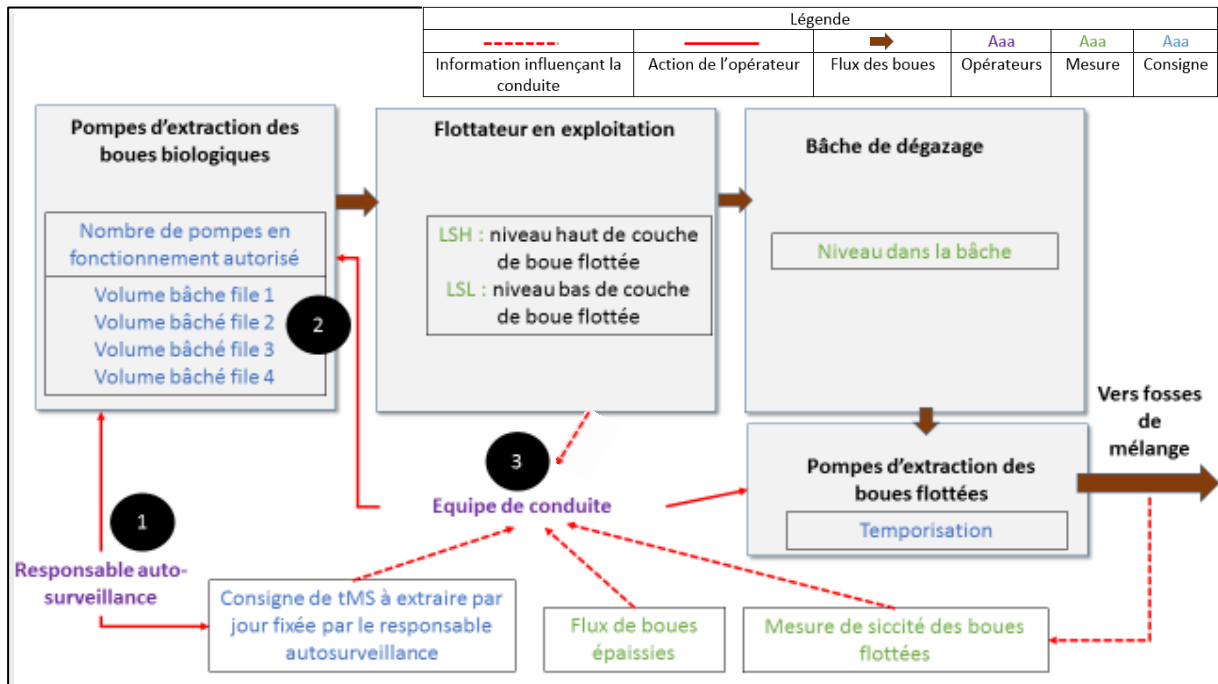


Figure 23 - Schéma de la stratégie de régulation de l'extraction des boues biologiques en place

- 1 Le responsable Autosurveillance de la station donne une consigne d'extraction aux équipes de conduite, exprimée en Tonnes de matières sèches à extraire sur la journée. Cette consigne est actualisée deux fois par semaine en fonction des analyses faites sur les bassins d'aération. Elle vise à contrôler la charge massique des bassins.
- 2 Le responsable Autosurveillance fixe également un volume par bâché et par file. Cela permet de différencier de manière relative les files biologiques. Le volume de bâché maximal est de 20 m³ : cela permet de limiter le temps d'extraction sur un seul clarificateur et d'éviter de le déséquilibrer.

Exemple de consigne de volumes

Si :

Volume à extraire File 1 = 1400 m³

Volume à extraire File 3 = 1200 m³

Volume à extraire File 4 = 1000 m³

Alors :

Volume de bâché File 1 = 20 m³

Volume de bâché File 3 = $(1200/1400) * 20 \text{ m}^3$

Volume de bâché File 4 = $(1000/1400) * 20 \text{ m}^3$

L'ordre de démarrage des pompes est alors le suivant : pompe 10, 20, 30, 40, 11, 21, 31, 41.

Le nombre de pompe en fonctionnement en même temps est fixé par les équipes de conduite (voir point suivant).

3

Les équipes de conduite gèrent l'extraction des boues flottées en augmentant ou diminuant l'extraction dans le puits à boue.

L'écope fonctionne en continue. Lorsque le niveau haut de la couche de boue n'est plus atteint, les équipes ont pour consigne d'alimenter le flottateur en fonctionnement avec trois pompes d'extraction des boues biologiques.

L'état de lieux a permis de souligner **la non-homogénéité de l'extraction des boues biologiques** sur 24h (voir ANNEXE 3).

Cette différenciation peut être expliquée par les raisons suivantes :

- 1) Les équipes de conduites ajuste l'extraction des boues flottées en fonction de la mesure de siccité des boues faite durant leur quart
- 2) Les équipes de conduite ajustent l'extraction des boues flottées en fonction de l'extraction des boues épaissies pour respecter un ratio 60/40 en masse de boues épaissies/boues flottées.
- 3) Les équipes ajustent l'extraction en fonction de la consigne et de l'extraction réalisée par les équipes précédentes.

IV.1. Bilan de fonctionnement de l'étape de flottation

Le diagnostic a permis d'établir un bilan positif du fonctionnement de cette étape du traitement des boues biologiques. Le taux de capture moyen à la journée est de 95% (voir Figure 24).

Par ailleurs, la charge massique au radier maximale préconisée par les constructeurs de 5 kgMS/h (soit environ 26 tMS/j pour un flottateur de Pierre Bénite) n'est jamais dépassée. Il n'y a donc aucune nécessité d'ouvrir un deuxième flottateur.

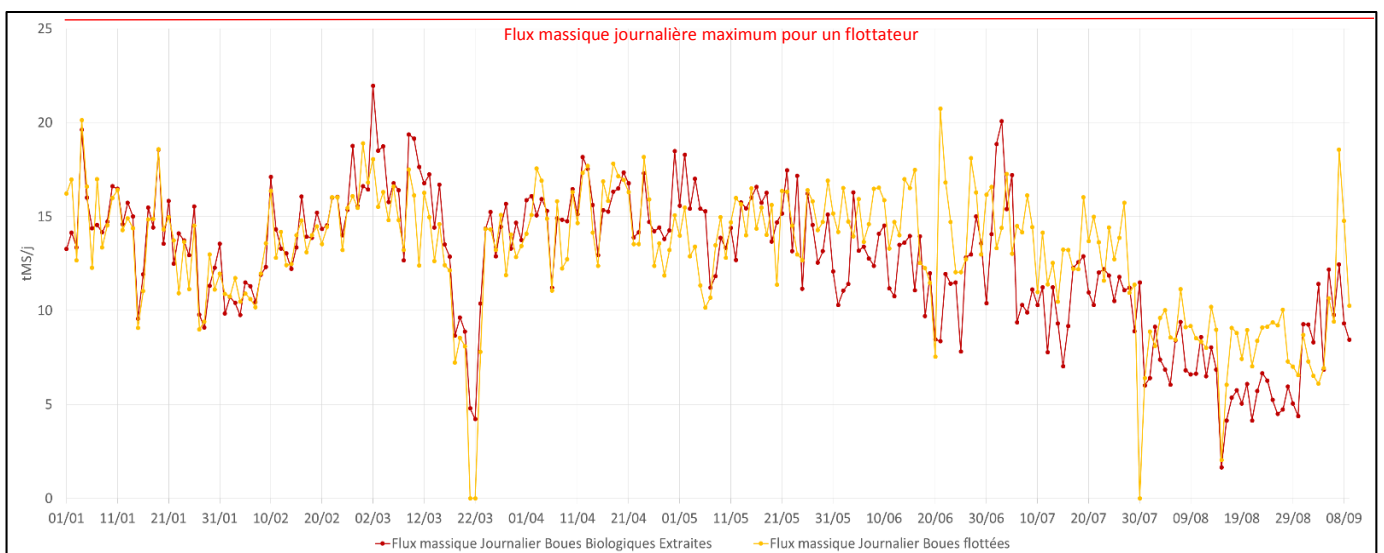


Figure 24 - Bilan massique sur le flottateur en fonctionnement

IV.2. Bilan de fonctionnement de l'étape d'épaississement

Comme précisé précédemment, la station possède 3 épaisseurs dont seulement 1 est en exploitation en temps normal. Cette mesure a été prise pour diminuer le temps de séjour des boues dans les ouvrages. Le bilan de fonctionnement a consisté à étudier les conséquences du fonctionnement sur un seul épaisseur et à faire le point sur le respect des règles de gestion mentionnées dans l'état de l'art.

Une première étape du bilan de fonctionnement a été de comparer les charges au radier journalières arrivant aux épaisseurs aux charges massiques maximales conseillées.

Le constat est clair car entre le 1^{er} janvier et le 09 septembre :

- La charge massique de 120 kgMS/j a été dépassée 25 jours
- La charge massique au radier de 100 kgMS/j a été dépassée 35 jours

Même si ces valeurs sont à prendre avec du recul du fait de l'imprécision de la mesure de siccité, elles indiquent toutefois de forts afflux de MES qui justifient l'ouverture d'un deuxième épaisseur, de manière ponctuelle, en temps de pluie.

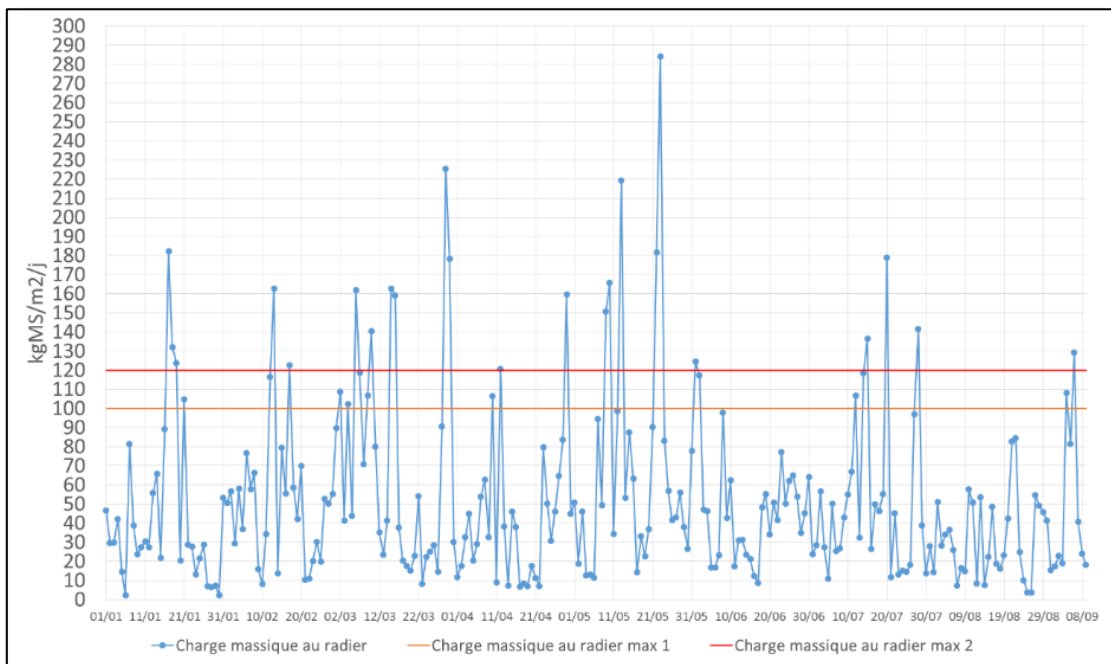


Figure 25 - Charge massique journalière rapportée à la surface d'un épaisseur

Plus la charge au radier est importante, plus le rendement de l'étape d'épaississement diminue (voir Figure 26) La comparaison des masses entrant et sortant des épaisseurs à l'échelle journalière indique un stockage puis un déstockage des boues dans le process.

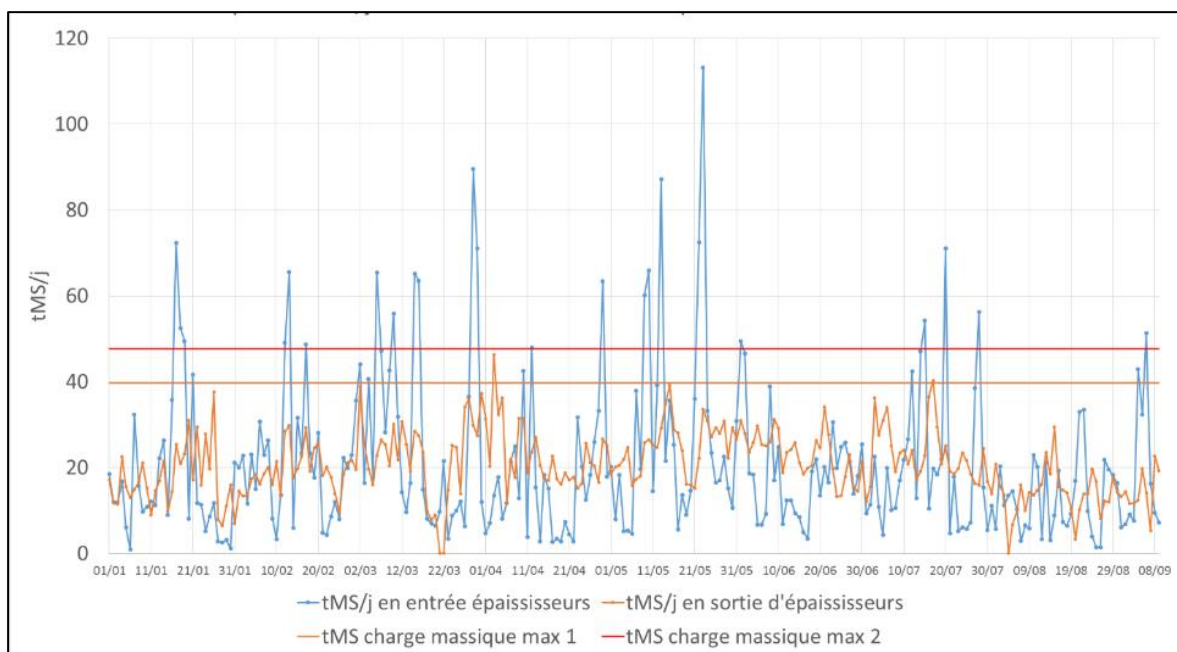


Figure 26 - Flux massiques journaliers entrant et sortant de l'étape d'épaississement statique

L'impact des précipitations permet d'expliquer ces variations brusques de la charge en entrée d'épaississeur (voir ANNEXE 4). En revanche, certains jours, le flux massique au radier est important malgré une absence de précipitation. Les explications avancées sont les suivantes :

- Un afflux massique après une journée de temps de pluie peut être causé par la vidange des décanteurs primaires supplémentaires ouverts uniquement pour le temps de pluie
- Les mesures de siccité sont fortement soumises aux imprécisions de mesures et induisent une erreur de l'estimation du flux massique

IV.2.1. Etude de la gestion des épaisseurs lors d'évènements pluvieux

Face à ce constat, il a été décidé d'étudier plus en détail la gestion des épaisseurs au cours des évènements pluvieux. Pour cela : le débit en entrée de station a été comparé au niveau du voile de boue dans les épaisseurs et à l'évolution de la mesure du couple de la herse. La mesure de voile de boue n'étant pas disponible sur la totalité des évènements étudiés, la mesure du couple a été utilisée. Des valeurs élevées de couple (>1.2 Nm) indique une présence importante de boue épaissies dans l'épaississeur (voir ANNEXE 5).

Sur les 31 épisodes pluvieux étudiés, le couple de l'épaississeur ou des épaisseurs en fonctionnement a été supérieur à 1,2 Nm pendant **plus de 24H pendant au moins 18 fois** (voir ANNEXE 6) **confirmant les soupçons de stockage prolongé de boues dans les épaisseurs** en cas d'afflux important de matières sèches.

Pour les mois précédents Juillet, ce constat est à **nuancer** car l'extraction de boues épaissies était extrêmement limitée du fait d'un encrassement des conduites. Cette obstruction induisait des pertes de charges importantes et limitait fortement débit d'extraction : les pompes peinaient à extraire plus de 10-15 m³/h lorsque la siccité augmentait et nécessitaient de nombreuses interventions. Une opération de nettoyage des canalisations sous haute pression a permis de régler ce problème qui cristallisait certaines tensions sur le site. Cependant, depuis cette intervention, des temps de stockage supérieurs à 24h ont été constatés malgré les possibilités accrues d'extraction des boues épaissies.

IV.2.2. Conséquence du stockage des boues dans les épaisseurs en fonctionnement

Les principales conséquences de ce stockage d'une durée supérieure à 24h sont :

- **Un développement plus important de bactéries filamenteuses de type Microthrix**, observées au microscope par le responsable Auto-Surveillance. Une prolifération de ce type de bactérie est particulièrement dommageable pour le traitement de l'eau : elle peut engendrer des problèmes de décantation des floccs biologiques et des phénomènes de moussage (DURBAN, 2015).
- **Un dysfonctionnement des pompes** causé par un épaissement trop important en fond d'ouvrage. La Figure 27 présente la mise en défaut de la pompe d'extraction en fonctionnement. Il est nettement identifiable que cette mise en défaut correspond à des moments où le couple de l'épaisseur est important, c'est-à-dire quand des boues sont stockées dans l'ouvrage et se compactent. Les pompes d'extraction des boues épaissies sont dimensionnées pour fonctionner avec une concentration maximale de 80 g/L, or les mesures faites par les équipes indiquent lors des événements pluvieux des siccités parfois proches de 9 à 10% ce qui peut expliquer cette mise en défaut.

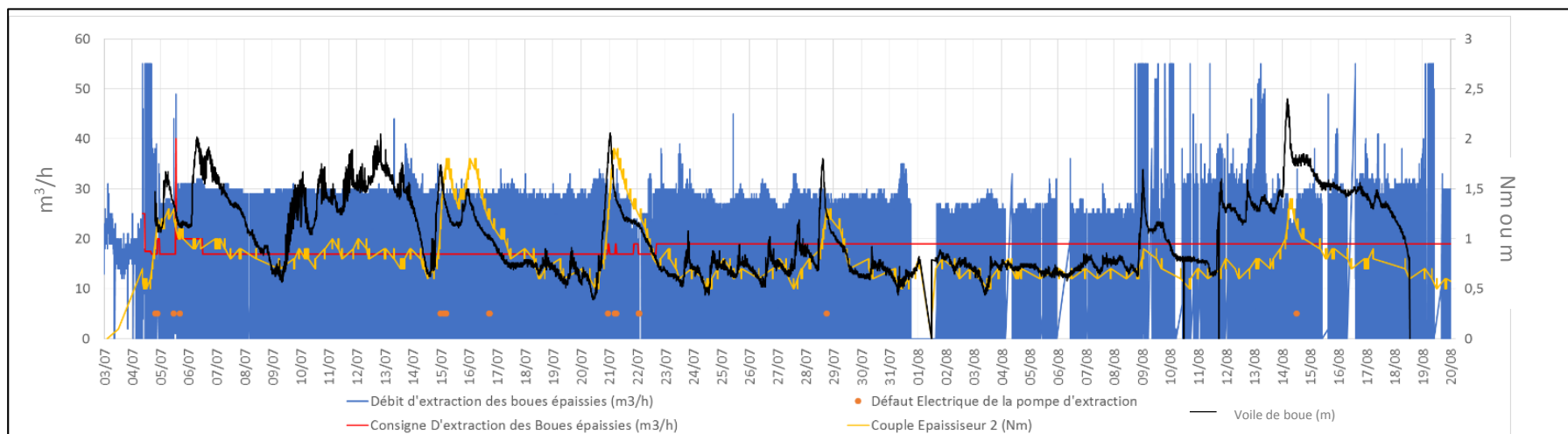


Figure 27 - Etude de la gestion des épaisseurs en temps de pluie : mise en défaut des pompes en fonction du couple et de la consigne d'extraction

IV.2.3. Synthèse sur le respect des règles de gestion

Cette partie reprend les règles de bonne gestion énoncées dans la synthèse bibliographique et en comparent aux résultats du bilan de fonctionnement réalisé (Tableau 6).

Règle de bonne gestion	Respect de la règle	Remarque complémentaire
Séparation Stockage/Épaississement	NON EN TEMPS DE PLUIE	-
Limitation des turbulences	OUI	-
Respect de la vitesse d'alimentation	OUI	-
Respect de la charge massique maximale	NON EN TEMPS DE PLUIE	Oui en temps sec Non sur certains événements pluvieux
Ajout d'eau épurée dans le surnageant		non adapté à la taille des installations
Contrôle de la hauteur du lit de boue	OUI ET NON	Défaillance de certains capteurs
Contrôle des surverses	OUI ET NON	Contrôle Visuel Pas de mesure de la concentration en MES
Contrôle de la concentration des boues épaissies	OUI	Les équipes de conduite mesure la siccité des boues épaissies 3 fois sur 24h.

Tableau 6 – Etude du respect des règles de bonne gestion des épaisseurs

Il ressort de cette comparaison que des améliorations de la gestion des épaisseurs sont souhaitables. Par la suite, l'étude devra donc se pencher sur :

- Les moyens de mieux gérer les afflux massiques importants
- Les moyens de mieux suivre le fonctionnement des épaisseurs

IV.3. Bilan de fonctionnement de stockage et des centrifugeuses

Cette section fait le point sur la stratégie de pilotage des fosses de mélange des boues mixtes et de la centrifugation des boues.

IV.3.1. Fonctionnement des fosses de mélange

Une seule fosse sur deux est utilisée. Le niveau du fonctionnement de la bêche en exploitation est fixé à une valeur relativement basse : 2,7 m maximum. Les fosses étant fortement pentues, cela correspond à un volume de 70 m³ seulement (voir ANNEXE 11). Lorsque le niveau trop haut fixé par les équipes est atteint, l'extraction des boues épaissies et des boues flottées est stoppée.

Lors des échanges avec les équipes d'exploitation, certaines d'entre elles ont indiqué une mauvaise homogénéisation lorsque le niveau de boue est trop haut. Après vérification de l'emplacement des agitateurs dans les fosses et de leurs caractéristiques techniques, les conclusions sont les suivantes :

- Les agitateurs ne sont pas orientables vers le haut : cela peut limiter la capacité de mélange des couches supérieures. De plus la forme relativement angulaire des fosses n'est pas propice à un mélange parfait (voir ANNEXE 12).
- L'agitateur a été dimensionné pour une boue d'une concentration de 50 g/L.

Par la suite, il faudra impérativement s'assurer que les fosses peuvent être correctement mélangées. Il serait dans un premier temps intéressant d'avoir l'avis d'une entreprise spécialisée.

IV.3.2. Fonctionnement des centrifugeuses

Ce paragraphe fait le point concernant les limites d'utilisation des centrifugeuses et les caractéristiques moyennes de fonctionnement sur site.

Limitation par la charge massique

La charge massique d'alimentation des centrifugeuses est de 1 250 kgMS/h (unitaire) et de 80 m³/h. Du fait des siccités des boues mixtes, les centrifugeuses sont limitées non pas par le débit volumique mais bien par le débit massique d'alimentation. Les pompes d'alimentation ne peuvent descendre en dessous d'un débit de 14 m³/h : si les siccités sont trop importantes, l'alimentation des centrifugeuses peut alors être compromise. Le Tableau 7 reprend les débits d'alimentation pour différentes conditions d'alimentation des centrifugeuses et de siccité de boues mixtes. Les cas pour lesquels il n'est pas possible d'alimenter les centrifugeuses sont indiquées en rouge.

			kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h	kgMS/h
			600	700	800	900	1000	1000	1200	1250
siccité	MS/MB	5,5%	10,9	12,7	14,5	16,4	18,2	20,0	21,8	22,7
	MS/MB	6,2%	9,7	11,3	12,9	14,5	16,1	17,7	19,4	20,2
	MS/MB	6,7%	9,0	10,4	11,9	13,4	14,9	16,4	17,9	18,7
	MS/MB	7,1%	8,5	9,9	11,3	12,7	14,1	15,5	16,9	17,6
	MS/MB	8,0%	7,5	8,8	10,0	11,3	12,5	13,8	15,0	15,6
	MS/MB	9,0%	6,7	7,8	8,9	10,0	11,1	12,2	13,3	13,9

Tableau 7 - Débit d'alimentation des centrifugeuses en fonction de la charge d'alimentation

Sous-alimentation des centrifugeuses

En exploitant les données de supervision, Il est constaté que les centrifugeuses sont rarement exploitées à leur capacité maximale de 1 250 kgMS/H (voir Tableau 8).

Paramètres	Unités	Valeur
Taux de capture moyen	%	98%
Siccité moyenne des boues déshydratées	%	27
Charge massique d'alimentation moyenne	kgMS/h	940

Tableau 8 - Caractéristiques moyennes du fonctionnement des centriugeuses

Fonctionnement dégradé

La station fonctionne actuellement en mode dégradé : il est difficile de fonctionner à plus de deux centrifugeuses en exploitation car les pompes à piston permettant le transport des boues épaissies aux silos intérieurs sont alors sujettes à des phénomènes de bouchage. La solution envisagée, qui n'entre pas dans le cadre de cette étude, est la réhabilitation des conduites (installation d'un diamètres plus important et curage sous pression plus régulier pour limiter l'encrassement et les pertes de charges). Ce projet est encore à l'étude.

Lien entre l'extraction des boues et la centrifugation

L'extraction et la centrifugation sont gérées pratiquement en continu : en conséquence cette étape a une influence importante sur les étapes situées en amont de la filière boue. Les perturbations de l'extraction sont presque immédiatement répercutées sur la centrifugation et inversement.

IV.4. Synthèse et conclusions de l'état des lieux

En conclusion de cette phase de diagnostic, les principaux éléments régulant la gestion de la filière boues et identifiés durant la phase d'état des lieux sont résumés à la figure ci-dessous.

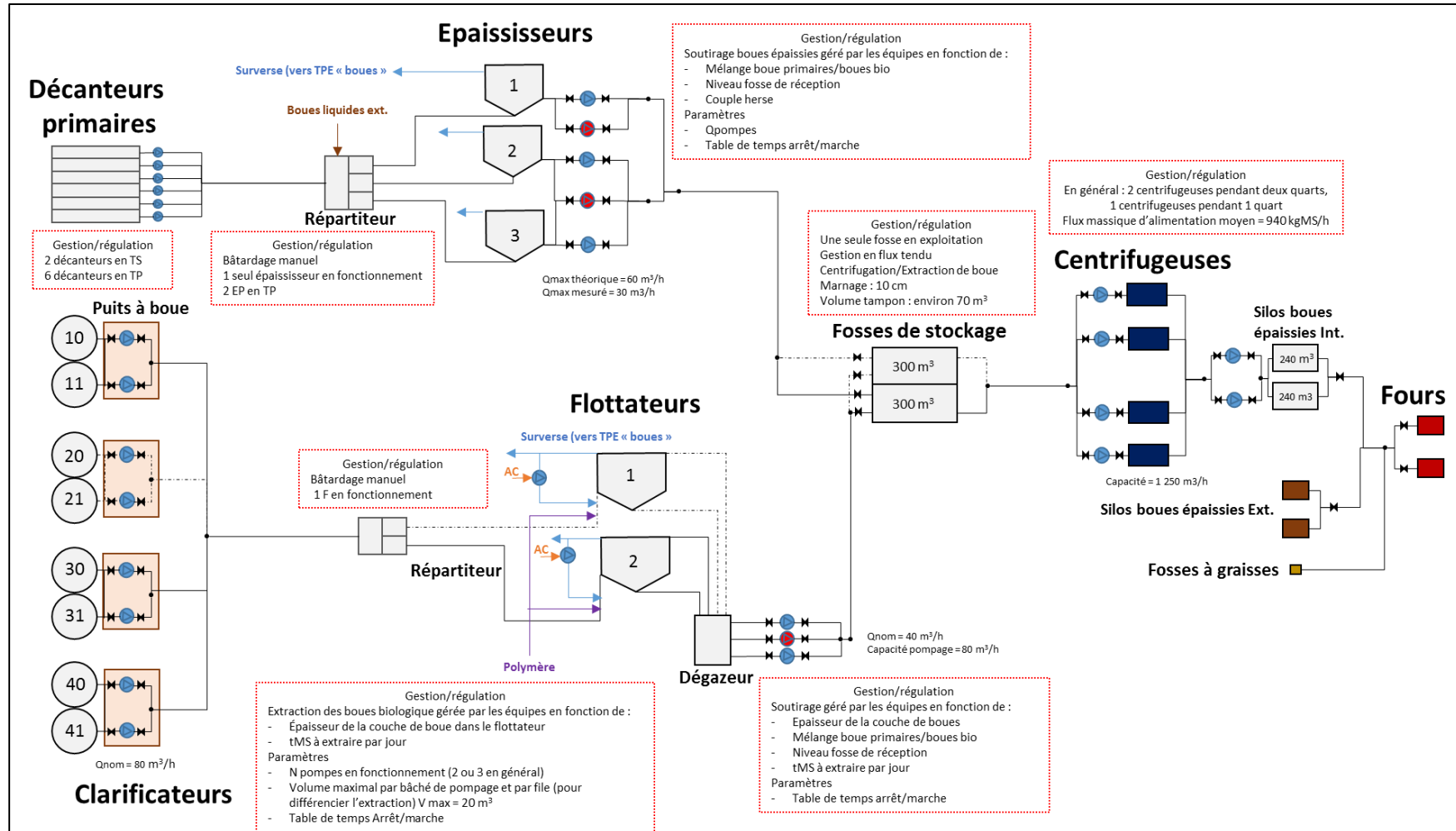


Figure 28 - Résumé des critères de gestion/régulation de la filière boue

Les conséquences de ces nombreux critères de pilotage et de régulation sont :

- ✓ Une conduite non fluidisée et différenciée selon les équipes de conduite, en particulier concernant l'extraction des boues biologiques. Il faut mettre en place une stratégie générale plus claire concernant la gestion des boues.
- ✓ L'étape d'épaississement de la boue primaire peut être améliorée, notamment en cas d'afflux de matière en suspension. Le temps de séjour de la boue dans la filière de traitement est, à certaines périodes, trop important. Il faut pouvoir évacuer les boues plus rapidement là où les retours vers la filière de traitement peuvent impacter négativement le fonctionnement de la station.
- ✓ Un fonctionnement en flux tendu de l'étape de stockage/déshydratation. À certaines occasions, ce mode de gestion a bloqué l'extraction des boues, pouvant provoquer des effets en chaîne : arrêt de l'extraction donc augmentation de la siccité des boues épaisses donc potentielle impossibilité d'alimentation des centrifugeuses une fois l'extraction et la centrifugation relancées....

La phase suivante de proposition de solution devra permettre définir de nouvelles stratégies de gestion de la filière permettant de répondre à ces problématiques.

V. ETUDE D'AMENAGEMENTS DE LA FILIERE BOUE

En cohérence avec les résultats de l'état des lieux, les objectifs des aménagements étudiés sont :

- ✓ D'assurer une extraction plus régulière des boues biologiques en excès
- ✓ De diminuer le temps de séjour des boues primaires dans le process, en particulier en temps de pluie
- ✓ De fluidifier le fonctionnement et gagner en marge de manœuvre concernant le pilotage de la filière boue, notamment en déconnectant plus les étapes d'extraction de boue de l'étape de centrifugation
- ✓

V.1. Optimisation de la gestion l'extraction boues biologiques brute et des boues biologiques flottées

V.1.1. Stratégie générale proposée

L'état des lieux aillant mis en lumière une conduite non homogène, et peut-être inutilement complexe, de l'extraction des boues biologiques, les pistes d'améliorations proposées sont :

- ✓ La modification du programme d'extraction des boues biologiques
- ✓ La modification de la régulation du flottateur

La nouvelle stratégie proposée est décrite à la Figure 29.

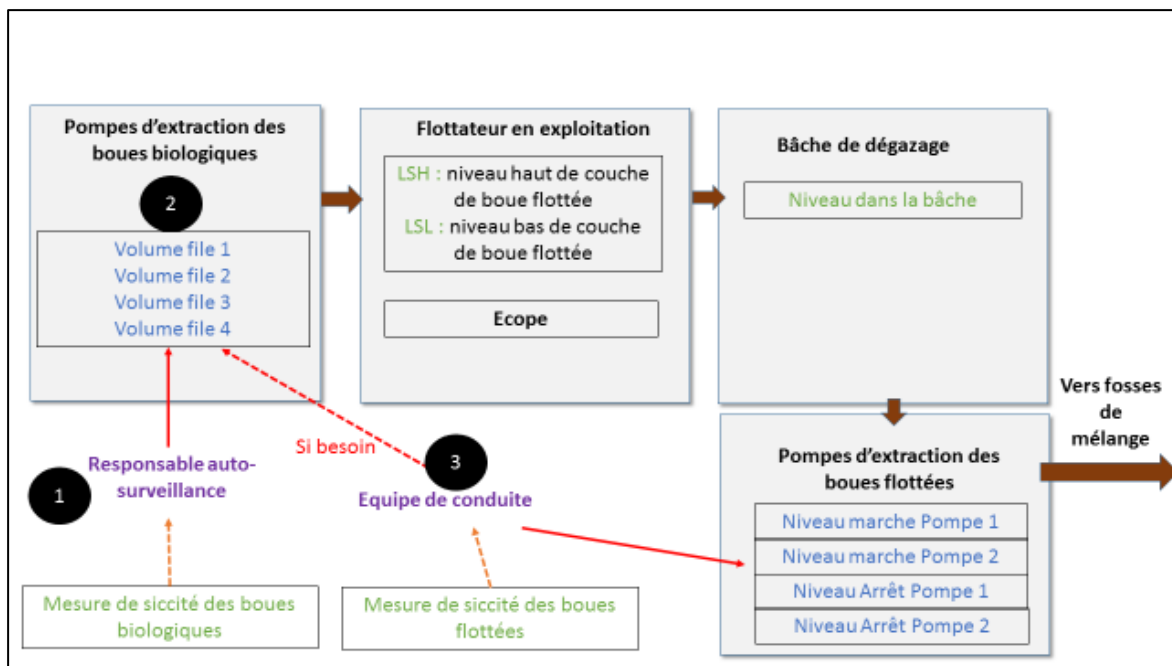


Figure 29 - Schéma de la nouvelle stratégie de gestion des boues biologiques extraites et des boues flottées proposée

- 1 Le responsable Autosurveillance fixe les volumes de boues biologiques à extraire par file. L'automate répartit autant que possible cette consigne sur 24h.
- 2 Le flottateur extrait les boues flottées, en se basant sur la mesure de la couche de boues (voir détails à la section V.1.3).
- 3 Les équipes de conduite peuvent gérer les niveaux de déclenchement dans la base de dégazage pour démarrer les premières pompes d'extraction.

Les équipes peuvent d'autre part passer en mode manuel lorsque la situation l'exige.

La gestion de la filière n'est plus rétro-contrôlée par :

- ✓ La mesure de siccité des boues flottées, qui reste un indicateur pour le réglage des paramètres de fonctionnement du flottateur (taux de traitement, taux de recirculation), mais qui, du fait de la difficulté d'obtenir une valeur précise avec une seule prise d'échantillon par quart n'est plus un outil de pilotage.
- ✓ L'extraction des boues épaissies. La quantité de boues épaissies extraites ne doit pas influencer l'extraction des boues flottées.

V.1.2. Modification du programme d'extraction des boues biologiques

Pour mettre en place la stratégie décrite au point précédent, il est nécessaire de modifier la régulation automatisée de l'extraction des boues. Cette partie du rapport décrit l'étude de différents modes de régulation puis la sélection d'une solution.

V.1.2.1. Nombre de pompe d'extraction des boues biologiques optimal et maximal en fonctionnement

Les flottateurs ont été dimensionnés pour recevoir chacun un débit de 160 m³/h, même si, ponctuellement, une surcharge est possible.

L'état de lieux a permis de vérifier qu'il n'était pas nécessaire de fonctionner avec deux flottateurs. En conséquence, le nombre de pompe optimal en fonctionnement peut être fixé à 2 et le nombre maximal de pompes à 3.

Remarque : Il a également été vérifié, en accord avec les études en cours sur le schéma directeur de la station de Pierre Bénite, que l'ouverture d'un deuxième flottateur ne sera pas non plus nécessaire à l'horizon 2040.

V.1.2.2. Pré-études de solutions

- **Mode 1 :** Répartition entièrement uniforme sur 24H par table de temps
- **Mode 2 :** Temps d'arrêt en fin de journée - Décalage du temps d'arrêt répartis sur deux schémas de pompes
- **Mode 3 :** Calcul de la table de temps toute les heures – Décalage du temps d'arrêt sur deux schémas de pompes

V.1.2.3. Comparaison des solutions

	Avantages	Inconvénients
Mode Actuel	- Alimentation relativement continue du flottateur	- Répartition non homogène sur 24h - Différenciation par file : relative
Mode 1	- Extraction totalement homogène sur 24h - Différenciation des files	- Alimentation parfois nulle du flottateur - Nécessité de prévoir un mode automatique avec plus que deux pompes en fonctionnement lorsque le volume à extraire est trop important
Mode 2	- Pas d'arrêt d'alimentation du flottateur (sauf si Volumes à extraire très faibles) - Différenciation des files	- Extraction moins importante en fin de journée - Moins de flexibilité d'adaptation pour passage à un mode dégradé si 3 pompes sont nécessaires - Nécessité de prévoir un mode automatique avec plus que deux pompes en fonctionnement lorsque le volume à extraire est trop important
Mode 3	- Plus flexible - Alimentation non nulle du flottateur (sauf si Volumes à extraire très faibles) - Extraction homogène sur 24h	- Nécessité de prévoir un mode automatique avec plus que deux pompes en fonctionnement lorsque le volume à extraire est trop important

Tableau 9 - Comparaison des modes de gestion d'extraction des boues biologiques

En raison de sa plus grande flexibilité et de capacité d'adaptation au cours d'une journée, le Mode 3 a été sélectionné. La solution finale, décrite ci-dessous, reprend ce mode de gestion et lui ajoute un mode automatique dégradé lorsque le volume à extraire est trop important pour avoir uniquement deux pompes en fonctionnement autorisées.

V.1.2.4.Détail de la solution proposée

La solution proposée s'appuie sur la séparation des pompes d'extraction en deux groupes, appelés « schémas »).

Le schéma 1 est constitué des pompes 10, 20, 30, 40.

Le schéma 2 est constitué des pompes 11, 21, 31, 41.

A 6H : le système se réinitialise

- Les débits de fonctionnement des pompes sont re-calculés en faisant le rapport du volume extrait au cours des dernières 24H divisé par le temps de fonctionnement de chaque pompe.
- Les variables « compteurs », comme par exemple la mesure des volumes extraits, se remettent à 0.
- L'automate récupère les consignes d'extraction par file, entrées par l'opérateur.
- L'automate peut alors calculer les temps de pompages nécessaires à chaque pompe pour atteindre la consigne et déterminer s'il est possible de fonctionner sur 2 pompes en marche simultanée :

Si le fonctionnement avec 2 pompes en fonctionnement simultané est possible alors [Mode Automatique Optimal] :

Les pompes du schéma 1 fonctionnent sur une table de temps.

L'enchaînement est le suivant : Pompe 10 puis 20 puis 30 puis 40 puis Arrêt

Les pompes du schéma 2 fonctionnent sur une table de temps.

L'enchaînement est le suivant : Arrêt puis Pompe 11 puis 21 puis 31 puis 41

Sinon [Mode Automatique Dégradé] :

3 pompes sont autorisées en fonctionnement

L'automate calcule les volumes de bâchés permettant de respecter une différenciation relative entre les files

L'ordre de mise en route des pompes est : 10, 20, 30, 40, 11, 21, 31, 41

Puis toutes les heures jusqu'à 6h J+1

- L'automate compare le volume extrait au volume consigne
- L'automate calcule alors le temps de pompage nécessaire par pompe puis par schémas

Si le fonctionnement avec 2 pompes en fonctionnement simultané est possible alors [Mode Automatique Optimal] :

Les pompes du schéma 1 fonctionnent sur une table de temps.

L'enchaînement est le suivant : Pompe 10 puis 20 puis 30 puis 40 puis Arrêt

Les pompes du schéma 2 fonctionnent sur une table de temps.

L'enchaînement est le suivant : Arrêt puis Pompe 11 puis 21 puis 31 puis 41

Sinon [Mode Automatique Dégradé] :

3 pompes sont autorisées en fonctionnement

L'automate calcule les volumes de bâchés permettant de respecter une différenciation relative entre les files

L'ordre de mise en route des pompes est : 10, 20, 30, 40, 11, 21, 31, 40

V.1.2.5.Mode dégradé manuel

Le mode dégradé manuel sera basé une table de temps. L'opérateur devra rentrer :

- ✓ Le nombre de pompe en fonctionnement autorisé
- ✓ Le temps de fonctionnement souhaité par pompe sur une heure

Le fait de se baser sur une table de temps permet :

- ✓ D'assurer l'extraction en **cas d'intervention ou de défaillance sur les débitmètres**
- ✓ D'assurer l'extraction **en cas de défaillance d'une pompe**, puisqu'il est alors possible de compenser facilement une partie du volume à extraire en augmentant le temps de fonctionnement de la première pompe (et en fonctionnant sur 3 pompes autorisées). Il faudra alors être particulièrement vigilant et surveiller de près le clarificateur duquel seront extraites les boues.

V.1.2.6.Simulations

Dans l'objectif de valider le mode de fonctionnement précédemment décrit, celui-ci a été programmé dans un outil Excel permettant de simuler, pas de temps par pas de temps, le mode de gestion sélectionné et décrit.

La simulation a été réalisée pour trois journées types :

- Jour 1 : Extraction des volumes égaux au percentile 10 de chaque file.
- Jour 2 : Extraction des volumes égaux à volume moyen de chaque file.
- Jour 3 : Extraction des volumes égaux au percentile 90 de chaque file.

Ces consignes d'extraction sont reprises dans le tableau suivant :

		Jour 1	Jour 2	Jour 3
V1=Volume à extraire file 1	m3/j	797	1077	1337
V2=Volume à extraire file 2	m3/j	0	0	0
V3=Volume à extraire file 3	m3/j	730	963	1237
V4=Volume à extraire file 4	m3/j	819	1237	1302
Volume TOTAL	m3/j	2346	3277	3876

Tableau 10 - Scénarios simulés pour l'extraction des boues biologiques

Ces simulations ont permis de valider :

- Les possibilités de fonctionner à 2 pompes en fonctionnement et avec une alimentation en continu du flottateur pour les Jours 1 et 2 (voir Figure 30).
- La possibilité de s'adapter ponctuellement à des consignes d'extraction plus importantes comme pour le Jour 3 en basculant dans un mode automatique dégradé puis en revenant lorsque c'est possible au mode automatique normal (Figure 30 – Jour 3).

Les simulations ont également été réalisées pour les autres modes de gestion étudiés, elles sont présentées en ANNEXE 8 et ANNEXE 9.

Hypothèses de travail

Pour que les simulations se rapprochent des conditions réelles, il a été considéré que les débits des pompes 10, 11, 20, 21, 30, 31 étaient égaux à 80 m³/h. Les débits des pompes 40 et 41 ont été considérés égaux à 65 m³/h.

Le temps maximum de pompage a été fixé à 10 min. Ce temps maximum est fixé en cohérence avec les prescriptions du FNDAE n°33 ((MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE - GIS BIOSTEP, 2005) qui conseillent pour l'extraction des cycles réguliers mais courts.

Vérification du nombre de démarrage maximal par heure

Il a d'autre part été vérifié que le nombre de démarrage par heure pour chaque pompe est inférieur à 15, en accord avec les données constructeurs (ANNEXE 7).

Simulation d'une erreur dans la valeur du débit de pompe utilisé dans le programme

Le mode de gestion proposé permet de compenser au cours d'une journée l'erreur éventuelle entre la valeur du débit de pompes utilisées pour le calcul et la valeur réelle. Cette compensation est possible grâce au re-calcul de la table de temps chaque heure.

Un exemple de simulation est présenté en ANNEXE 10. On peut alors s'apercevoir que la durée des cycles s'adapte au fur et à mesure de la journée pour compenser l'erreur et permettant de respecter à la fin de la journée les consignes d'extraction fixées.

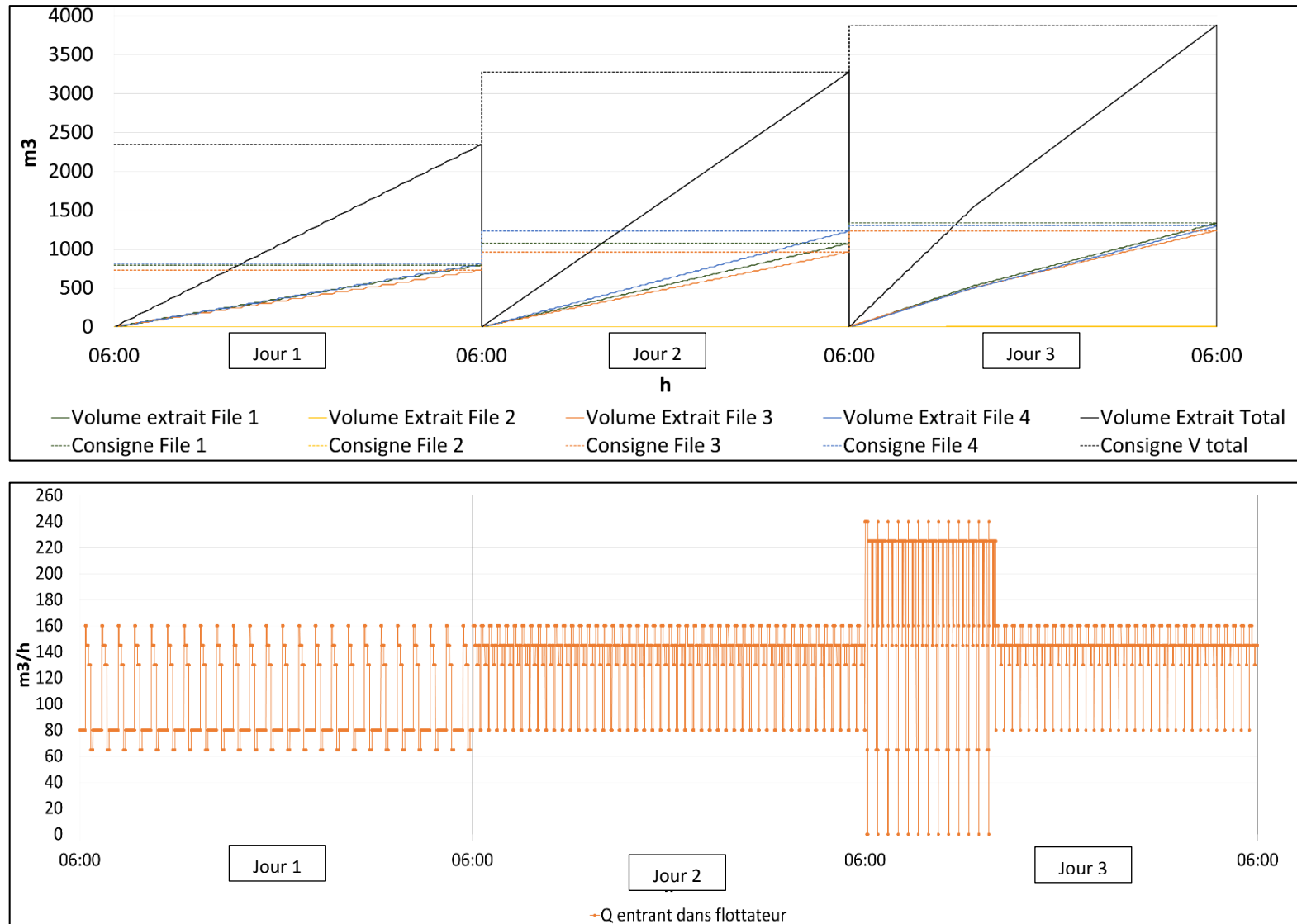


Figure 30 - Simulation pour différents scénarios du mode d'extraction des boues biologiques proposé : Volumes extraits au cours d'une journée et Débit instantané entrant dans le flottateur

V.1.3. Modification de la gestion du flottateur

En cohérence avec la volonté de contrôler majoritairement la filière boue de l'amont vers l'aval et en l'occurrence de l'extraction des boues biologiques vers l'extraction des boues flottées, il est proposé de modifier régulation du flottateur et notamment de son écope :

L'écope, fonctionnant actuellement en continu, doit être asservie aux niveaux mesurés de la couche de boue.

- Si l'écope est en route : lorsque la couche atteint son niveau bas (perte du signal LVL), l'écope s'arrête.
- Si l'écope est à l'arrêt : lorsque la couche atteint son niveau haut (signal LVH), elle se met en route.

Une période d'adaptation à la conduite sera sans doute nécessaire pour éventuellement régler la vitesse de l'écope, mais cette modification permettra :

- De ne plus écopier quand il n'y a pas de couche de boues flottées et donc de ne plus soustraire des boues flottées très peu concentrées
- D'homogénéiser l'extraction des boues biologiques sur 24H, avec une régulation de l'amont vers l'aval

V.1.4. Conclusions, limites du stage et perspectives

A l'issue du stage, la stratégie de gestion décrite a été validée par le comité de Pilotage de la station de Pierre Bénite. Une première analyse fonctionnelle a été rédigée. Celle-ci pourra servir de support aux automaticiens pour la modification de l'automatisme existant.

La mission n'a pas pu aboutir à la mise en place effective de cette nouvelle automatisation, du fait des contraintes d'exploitation et du manque de disponibilité des automaticiens référents sur le site (mise en place d'un nouveau système de supervision au moment du stage).

Dans l'idéal, une fois la solution proposée validée par le comité de pilotage de la station il aurait fallu :

- ✓ Finaliser l'analyse fonctionnelle avec les automaticiens
- ✓ Faire les modifications nécessaires dans l'automatisme
- ✓ Suivre le nouveau mode de gestion pendant une période de validation et y apporter des modifications si nécessaire (en particulier sur le flottateur concernant la gestion de l'écope).

V.2. Optimisation de la gestion des boues primaires et des boues épaissies

L'optimisation de gestion des épaisseurs vise à :

- 1) Evacuer plus rapidement les boues épaissies, en particulier en temps de pluie, lors d'afflux important de MES
- 2) Faciliter la conduite et le pilotage des épaisseurs

Pour cela, deux principales mesures sont proposées :

- ✓ Augmenter les consignes d'extraction la masse de boues contenue dans les épaisseurs lors des afflux des MES
- ✓ Ouvrir un deuxième épaisseur lors des épisodes d'afflux massifs importants

V.2.1. Aménagements nécessaires

Pour mettre en place cette stratégie de pilotage, il est nécessaire d'assurer un meilleur suivi de l'étape d'épaississement. Les aménagements proposés sont :

- ✓ La prise d'échantillon des surverses et l'analyse de leur concentration en MES lors des tournées des équipes
- ✓ La mise en place d'une sonde MES mesurant la concentration des boues épaissies. Une sonde, dont la mesure n'est pas remontée en supervision, est déjà présente sur site. Elle n'a cependant pas donné de résultats satisfaisants (impossibilité d'avoir une mesure précise, malgré un ré-étalonnage par l'équipe d'autosurveillance). Il faudra à l'avenir trouver un type de sonde plus adapté à la matrice des boues épaissies.
- ✓ La mise en place d'un système de répartition automatique du flux de boues primaires dans les épaisseurs. Le système de bâtarde manuel est non sécuritaire et n'est pas adapté dans le cadre d'un passage plus fréquent sur deux épaisseurs. Il est pour l'instant envisagé la mise en place de vannes pneumatiques.

V.2.2. Procédure proposée

La procédure de gestion des épaisseurs s'appuie sur les points suivants :

- ✓ Les consignes d'extraction des boues épaissies sont augmentées lorsque la concentration des boues épaissies augmente significativement et/ou que le couple augmente.
- ✓ Un deuxième épaisseur est ouvert, à l'appréciation des équipes de conduites, lorsque le couple et/ou la concentration des boues épaissies ne diminuent pas malgré une extraction plus importante et que la météo prévoit des précipitations supplémentaires. Lorsque deux épaisseurs sont en exploitation, le soutirage est autorisé sur les deux ouvrages (ce qui n'est pas forcément le cas à l'heure actuelle) et la consigne d'extraction des boues primaires (et donc d'alimentation des épaisseurs) est doublée.
- ✓ Le deuxième épaisseur en exploitation n'est pas fermé avant que la vidange des décanteurs lamellaires ouverts uniquement pour le temps de pluie n'ait été faite. Il est ensuite vidangé autant que possible par les pompes d'extraction puis canardé dans le second épaisseur (il est recommandé de fonctionner avec le couple Epaisseur 2/Epaisseur 3 pour que le canardage soit possible).

V.3. Optimisation de la gestion des fosses et des centrifugeuses

Actuellement gérée en flux tendu, avec un volume de stockage et un marnage faibles, cette étape de mélange des boues puis de centrifugation a un impact fort sur le fonctionnement de la filière, en particulier sur l'extraction des boues flottées et épaissies.

L'objectif de cette partie est d'étudier différents modes de gestions des fosses et des centrifugeuses pour définir une nouvelle stratégie de gestion permettant de rendre moins dépendante l'étape d'extraction des boues de cette étape de mélange/déshydratation.

V.3.1. Présentation des modes de gestion étudiés

Les modes étudiés ont été les suivants :

Mode	Fosse(s) de mélange en exploitation	Gestion des flux	Nombre de centrifugeuses en fonctionnement autorisé
1	1	Continu	2
2	2 en alternance	Alternance entre les fosses	2
3	2 en alternance	Alternance entre les fosses	3
4	2 en simultané	Continu	2
5	2 en simultané	Bâché	2
6	2 en simultané	Bâché	3

Figure 31 - Mode de gestion fosses/centrifugeuses étudiées

V.3.2. Etude de la capacité des modes de gestion proposé à gérer les volumes de boues suivant les consignes d'alimentation des centrifugeuses

Dans un premier temps, la capacité des scénarios à gérer les volumes mis en jeu dans la filière boue a été étudiée. Les scénarios envisagés sont repris dans le tableau suivant :

Nom du scénario	Volumes de boues épaissies	Volumes de boues flottées	TOTAL
Vmin	191	190	381
Vmoy	297	349	646
Vmax	405	463	868

Figure 32 - Scénarios pour étudier la gestion des volumes des modes de gestion fosses/centrifugeuses étudiés

Le scénario 1 correspond au percentile 10 des volumes de boues flottées et épaissies, calculés sur la période étudiée dans l'état des lieux. Le scénario 2 correspond aux volumes journaliers moyens mesurés. Le scénario 3 met en jeu le percentile 90 des volumes mesurés.

V.3.2.1.Hypothèses de travail

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- ✓ La masse volumique des boues liquides est considérée égale à 1000 kg/m^3
- ✓ La siccité des boues épaissies est considéré constante et égale à 7% de MS (valeur moyenne mesurée sur la période d'étude)
- ✓ La siccité des boues flottées est considéré constante et égale à 4% de MS (valeur moyenne mesurée sur la période d'étude).
- ✓ Le débit d'alimentation des centrifugeuses est calculé par pas de temps en fonction de la composition dans la bêche et de la consigne d'alimentation des centrifugeuses
- ✓ Le volume de départ est considéré de 100 m^3 si une seule fosse est en exploitation ou de 200 m^3 lorsque deux fosses sont en exploitation simultanée.

V.3.2.2.Résultats de simulation

- ✓ Pour une consigne d'alimentation de centrifugeuses de 0.940 tMS/H (valeur moyenne constatée sur site) l'ensemble des modes de gestion considérés peut gérer les volumes journaliers étudiés.
- ✓ Les modes de gestion sont sensibles à la variation de la consigne d'alimentation des centrifugeuses. Par exemple, pour le scénario 3, lorsque la consigne d'alimentation est de 0,8 tMS/h, seul le Mode 3 (fonctionnant à 3 centrifugeuses) permet de stabiliser le niveau (voir Figure 33).
- ✓ Pour les modes 2,3,5,6 fonctionnant en bâchés ou en alternance de fosse : fonctionner à 3 centrifugeuses augmente significativement la marge de manœuvre.

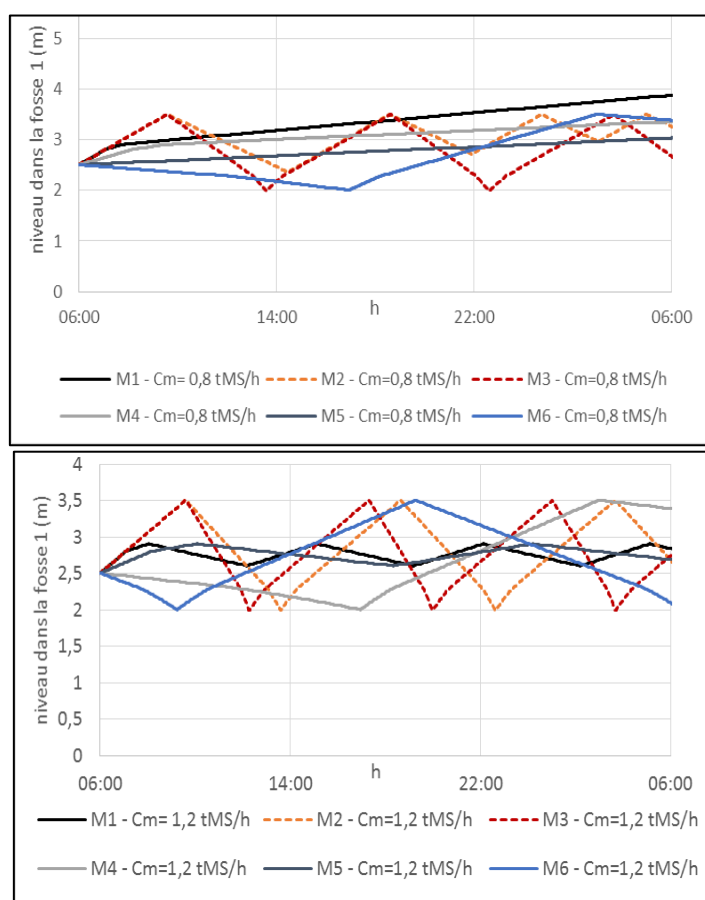


Figure 33- Scénario 3 - Niveau dans la fosse 1 - En haut : Alimentation des centrifugeuses à 0,8 tMS/h - En bas : Alimentation des centrifugeuses à 1,2 tMS/h

V.3.3. Etude de la robustesse des modes de gestion étudiés face à des variations de composition

Pour ajouter des éléments de comparaison des modes étudiés, il a été étudié l'impact d'un changement de composition sur la boue centrifugée. Pour cela, un flux de boues épaissies variant de 6% de MS à 8% de MS toute les trois heures a été appliqué en entrée des simulations. Ces siccités font partie des valeurs usuelles de siccité de boues épaissies mesurées. La variation en créneaux brusques de cette concentration n'a pas pour but de représenter une réalité fidèle (celle-ci n'était pas simulable du fait de l'absence de données en continue de la siccité sur une journée) mais de donner un élément de comparaison supplémentaire entre les modes de gestion étudiés.

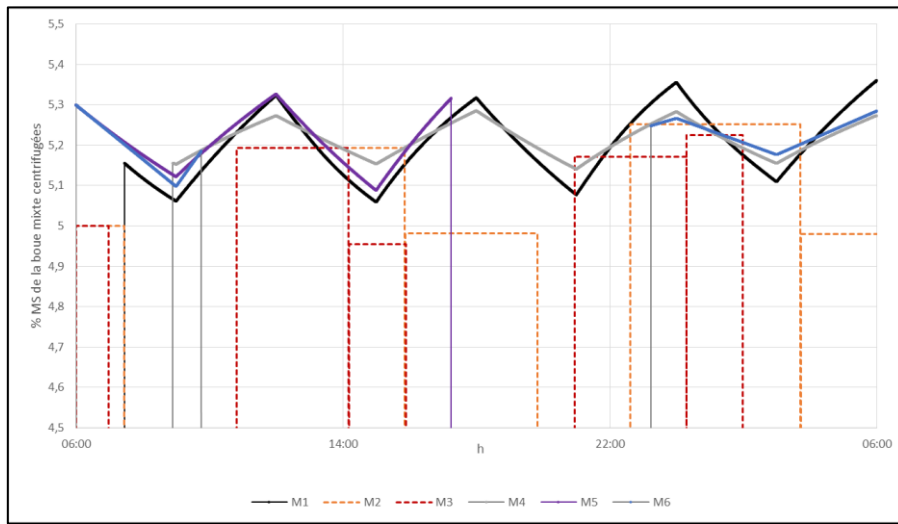


Figure 34-Simulation des différents modes de gestion fosses/centrifugeuse: comparaison de l'évolution de la siccité des boues mixtes centrifugées

Les modes 2 et 3 (fonctionnant avec deux fosses en alternance) permettent d'avoir une composition fixe lors de la centrifugation d'un fosse. En revanche, les différences de composition entre les bâches peuvent être significatives, compliquant le basculement de la centrifugation.

Le mode 1 est plus sensible aux variations que les modes 4, 5 et 6 du fait d'un volume tampon plus faible.

Le mode 4 est le moins impacté car c'est celui qui garde constamment un volume tampon important.

V.3.4. Etude des volumes de stockage nécessaire pour extraction de différentes masses de boues épaissies

Pour évaluer les possibilités d'extraction des boues, il a été calculé les volumes de stockage nécessaires de boues mixtes et de boues déshydratées, pour différentes conditions de fonctionnement. Il a été considéré une valeur fixe de 13 tMS/j de boues biologiques extraites. Les résultats sont présentés de manière synthétique dans le Tableau 11 et le Tableau 12.

Avec deux centrifugeuses en fonctionnement

BEP	BFG	Alimentation four	Cm = 0,9 tMS/h				Cm = 1,05 tMS/h				Cm = 1,2 tMS/h			
40 tMS/j	13 tMS/j	5 m3/h	177	159	177	25	47	42	39	50	-83	-75	-68	75
		7.5 m3/h	177	159	177	35	47	42	39	-10	-83	-75	-68	14
		10 m3/h	177	159	177	-95	47	42	39	-70	-83	-75	-68	-46
55 tMS/j	13 tMS/j	5 m3/h	440	392	356	25	312	278	253	50	184	164	149	75
		7.5 m3/h	440	392	356	-35	312	278	253	-10	184	164	149	14
		10 m3/h	440	392	356	-95	312	278	253	-70	184	164	149	-46
70 tMS/j	13 tMS/j	5 m3/h	698	618	558	25	572	506	457	50	445	394	356	75
		7.5 m3/h	698	618	558	-35	572	506	457	-10	445	394	356	14
		10 m3/h	698	618	558	-95	572	506	457	-70	445	394	356	-46

Tableau 11 - Volumes de stockage nécessaire - Fonctionnement à 2 centrifugeuses

Avec trois centrifugeuses en fonctionnement

	Alimentation four	Cm = 0,9 tMS/h				Cm = 1,05 tMS/h				Cm = 1,2 tMS/h			
40 t	5 m3/h	-213	-192	-176	98	-407	-367	-336	135	-602	-542	-497	171
	7.5 m3/h	-213	-192	-176	38	-407	-367	-336	75	-602	-542	-497	111
	10 m3/h	-213	-192	-176	-22	-407	-367	-336	15	-602	-542	-497	51
55 t	5 m3/h	57	51	46	98	-135	-120	-109	135	-326	-291	-264	171
	7.5 m3/h	57	51	46	38	-135	-120	-109	75	-326	-291	-264	111
	10 m3/h	57	51	46	-22	-135	-120	-109	15	-326	-291	-264	51
70 t	5 m3/h	319	283	255	98	130	115	104	135	-60	-53	-48	171
	7.5 m3/h	319	283	255	38	130	115	104	75	-60	-53	-48	111
	10 m3/h	319	283	255	-22	130	115	104	15	-60	-53	-48	51

Tableau 12 - Volumes de stockage nécessaires – Fonctionnement à 3 centrifugeuses

Si l'on ne peut fonctionner qu'à deux centrifugeuses, l'étape limite pour évacuer les boues des phases d'épaississement est l'étape de stockage des boues mixtes. Un fonctionnement avec trois centrifugeuses permettrait de gagner considérablement en marge de manœuvre.

Les marges de manœuvre identifiées pour optimiser l'extraction des boues sont :

- ✓ la consigne d'alimentation des centrifugeuses
- ✓ la consigne d'alimentation du four

Une consigne d'extraction de centrifugeuses de 1,2 tMS/h permet d'envisager l'extraction de 70 tonnes de matières sèches en un jour pour un volume de stockage de boues mixtes nécessaire d'environ 400 m³.

V.3.5. Synthèse des résultats et proposition d'un mode de gestion

A l'issue de cette phase d'étude, les conclusions sur les différents modes de gestion sont les suivants :

- ✓ Les modes fonctionnant en alternance de fosse ou en bâché sont plus sensibles que les autres aux aléas de production selon la phase de leur cycle à laquelle se produit cette perturbation
- ✓ Un fonctionnement sur trois centrifugeuses laisserait une marge de manœuvre beaucoup plus confortable mais n'est pas encore envisageable à l'heure actuelle
- ✓ A l'heure actuelle des choses, où seulement deux centrifugeuses peuvent fonctionner de manière, la capacité de stockage de boues mixtes est le paramètre le plus limitant. Il est donc intéressant de pouvoir, en temps de pluie, autoriser un volume de stockage important en cas de nécessité d'extraction importante des boues épaissies. Malgré les problèmes d'homogénéisation reportés par les équipes de conduite, ce stockage temporaire est préférable à la détérioration des boues dans une partie du process sensible comme les épaisseurs.
- ✓ Le volume nécessaire de stockage dans les silos en fonctionnant à deux centrifugeuses est faible. En revanche, si trois centrifugeuses sont autorisées, il sera intéressant en tant de pluie de prévoir au moins la moitié d'un silo de boue intérieur de disponible et d'augmenter la consigne d'alimentation en boue du four.

En conclusion, la proposition est la suivante :

En temps sec, les deux fosses sont exploitées de manière simultanée. Le volume de stockage préconisé est d'environ 300 à 400 m³. Ce volume permet de lisser les perturbations, tout en limitant le temps de séjour des boues dans les fosses (le fonctionnement sur deux centrifugeuses limite les possibilités d'extraction). En effet, des boues fermentées sont plus difficiles à centrifugées et induisent une consommation plus importante de polymère.

Les niveaux de fonctionnement proposés sont les suivants :

Consigne Hauteur Démarrage Centrifugeuse 1	3,1 m
Consigne hauteur démarrage centrifugeuse 2	3,2 m
Consigne hauteur arrêt Centrifugeuse 1	2,7 m
Consigne hauteur arrêt Centrifugeuse 2	2,8 m

Tableau 13 - Proposition de réglage de niveaux pour l'Arrêt/Marche des centrifugeuses

Ils ont été sélectionnés pour minimiser le nombre d'Arrêt/Marche des centrifugeuses, selon les scénarios Vmin/Vmoy/Vmax présentés précédemment. Les simulations pour les conditions usuelles de fonctionnement sont présentées en ANNEXE 13. Ces valeurs sont précisées à titre indicatif, il sera nécessaire de les valider par une période d'essais.

En temps de pluie, la procédure proposée est la suivante :

- 1) En préparation du temps de pluie : vidange des fosses à un niveau bas pour pouvoir stocker les boues mixtes ne pouvant être déshydratées dans l'immédiat
- 2) Temps de pluie : Les boues sont extraites au plus vite des épaisseurs. Les deux centrifugeuses sont mises en marche et un niveau de stockage élevé est autorisé dans les fosses de mélange.

VI. APPUI A LA CONDUITE DU CHANGEMENT

Les solutions proposées ne concernent pas un changement de technologie mais un changement dans la manière de gérer les installations existantes. Ces nouvelles stratégies de gestion sont donc directement impactantes pour les équipes de conduite en charge du pilotage.

L'implication des équipes est donc essentielle pour mener à bien ce projet d'optimisation du fonctionnement de la filière boue.

Afin de préparer au mieux la conduite du changement, les échanges avec des équipes de conduite et les responsables d'exploitation ont été intégrés à chaque étape de la mission, permettant de prendre au mieux la mesure de la réalité du terrain et ainsi de proposer des solutions adaptées :

- 1) Durant la phase de découverte de la station, j'ai passé du temps avec certaines équipes de conduite afin d'appréhender au mieux leur travail quotidien et leur vision terrain du fonctionnement de la station. Les échanges ont également porté sur les manières de gérer la filière boue et les centrifugeuses.
- 2) Durant la phase de diagnostic et la première partie des études d'aménagements, des points réguliers de présentation et de discussions ont été organisés entre l'ingénieur d'exploitation/le responsable process et autosurveillance et le technicien d'exploitation. Ces réunions ont permis à chacun de pouvoir exprimer son point de vue et faire part de ses propres contraintes/vision de l'exploitation.
- 3) Durant une seconde phase d'études et de proposition d'aménagements, les équipes d'exploitation ont été consultées. Un document support de communication a été réalisé. Il contenait une présentation de l'état des lieux de la filière boue, ainsi qu'une présentation des premières propositions d'aménagements. Des rencontres avec chacune des équipes de conduite ont été organisées. Ces rencontres avaient pour objectifs : de présenter une partie du travail réalisé et d'échanger sur les changements envisagés. Les remarques et les retours terrain des équipes ont été précieux et ont permis d'améliorer les solutions finales proposées.

A la fin de ce stage de 6 mois, la conduite du changement a été initiée, en particulier par cette dernière phase de communication, mais elle est loin d'être aboutie. En effet, si les échanges avec les équipes ont permis d'amorcer le dialogue et le changement, cela constituait seulement une étape préliminaire. Le principal verrou au changement identifié est la peur de sortir d'un ratio « usuel » de Boues Primaires/Boues biologique et de ne pas pouvoir centrifuger correctement.

Une étape centrale pour la mise en place des stratégies proposées sera donc une étape d'essais, de formation et de mise en commun du savoir-faire, de manière à lever les doutes et à faire monter en compétence l'ensemble des équipes de conduite. L'objectif de gagner en souplesse d'exploitation sur la filière boue doit d'abord être celui de gagner en souplesse d'exploitation des centrifugeuses.

VII. PROPOSITIONS FINALES

Pour pouvoir avoir une vue d'ensemble des propositions faites à l'issue de ce stage, le tableau suivant reprend l'ensemble des éléments d'amélioration proposé, ainsi que leur impact sur les équipes et une première estimation des coûts de mise en place.

Objectif	Proposition	Aménagements correspondants	Impact sur les équipes	Chiffrage économique
Homogénéiser l'extraction des boues biologiques	Table de temps dynamique	Modification de l'automatisme	Moyen	5 jours d'intervention - tarif Ingénieur (500 €/j) = 2500 €
Limiter le temps de séjour des boues en temps de pluie	Ouverture ponctuelle d'une deuxième file	Mise en place de vannes pneumatiques à la place du bâtardage manuel	Moyen	Non connu – Chiffrage en cours de l'entreprise partenaire du Grand Lyon (marché à bons de commande)
	Augmentation de la consigne d'extraction des boues épaissies	Sonde MES des boues Epaissies pour éviter un épaississement trop fort (provoquant la mise en défaut des pompes)	Moyen	5 000 €
	Augmentation de la consigne d'extraction des boues primaires	-	Moyen	-
Déconnecter la phase d'extraction de la phase de centrifugation	Montée en compétence des équipes sur la centrifugation	-	Fort	Formation Andritz de deux jours : 1800 € + 800 € par personnes supplémentaires Si formation de 10 personnes : 10 800 €
	Campagne de test	-	Fort	-
	Carnet Guide – Pilotage centrifugeuses	-	Fort	-
	Etude homogénéisation des fosses et mise en place d'une solution	-	Faible	Pas de devis
	Indicateur de composition de des fosses de mélange	Fiabilisation mesure MES Boues épaissies/Boues flottées Modification du logiciel de supervision pour remontée les données	Moyen	1 jour d'intervention tarif Ingénieur : 500 €
	Fonctionnement avec marnage plus important et 2 fosses en fonctionnement	-	Fort	-

Figure 35 – Aménagements proposés : récapitulatif et estimation des impacts sur les équipes et des coûts financiers

VIII. PROPOSITION DE PHASAGE

La Figure 36 présente le phasage proposé pour à la mise en œuvre des stratégies proposées. La formation et l'implication des équipes est l'élément essentiel pour la mise en place des changements, c'est pourquoi cette étape impacte la mise en place des stratégies (Etapes 3, 8 et 10). Ce premier planning ne sera pas définitif et sera fortement dépendant des contraintes techniques et administratives.

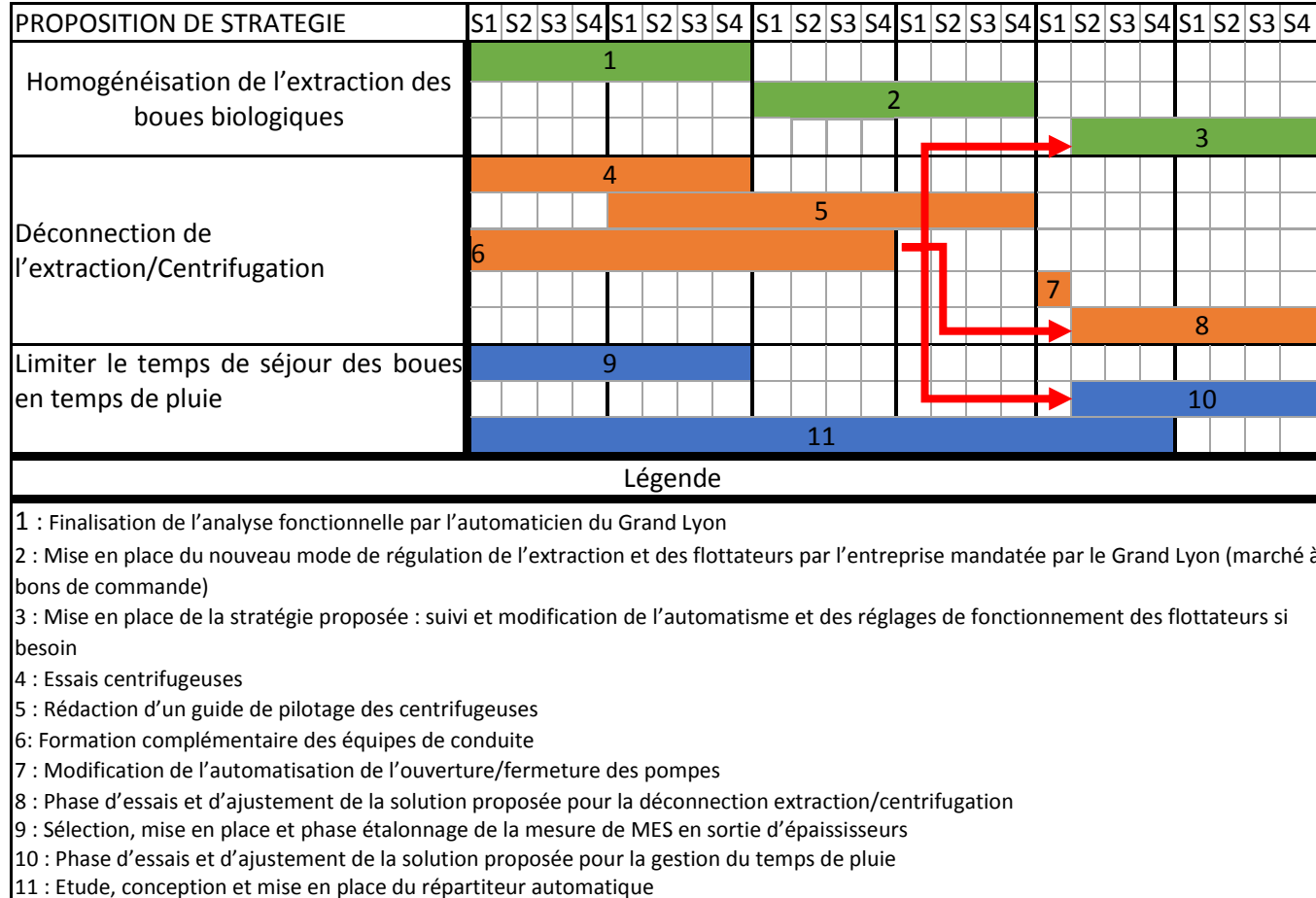


Figure 36 - Phasage proposé pour la mise en œuvre des stratégies

IX. CONCLUSIONS GENERALES

En conclusion sur le travail réalisé : il a été mis en avant, grâce à un état des lieux détaillé, la nécessité de proposer de nouvelles stratégies de gestion de la filière boue de Pierre Bénite. Ces stratégies doivent permettre :

- Plus d'homogénéité dans l'extraction des boues biologiques, tout en permettant une personnalisation simple des consignes par file biologique
- Plus d'indépendance de l'extraction des boues flottées et épaissies vis-à-vis de l'étape de centrifugation pour gagner en souplesse d'exploitation
- Une meilleure gestion des boues épaissies et en particulier une limitation du stockage dans la partie du procédé non prévue à cet effet

Après études de différents modes de gestion et scénarios, les propositions faites à l'issue de ce stage sont :

- La modification du système d'automatisation et de régulation de l'extraction des boues biologiques et du flottateur. Le changement proposé est la mise en place d'une table de temps dynamique d'extraction des boues biologiques (mise à jour toute les heures). La régulation du flottateur sera alors adaptée en fonction de ce nouveau mode d'extraction. Cette stratégie de pilotage permettrait d'homogénéiser l'extraction sur 24h tout en conservant une capacité d'adaptation aux aléas de fonctionnement des installations.
- Le fonctionnement avec deux fosses en exploitation simultanée. Ce mode de fonctionnement permettrait en temps sec de lisser les aléas de production et d'assurer une composition plus stable de la composition des boues d'alimentation des centrifugeuses. En autorisant un volume de stockage et un volume de marnage plus important, il permet de diminuer la dépendance extraction/centrifugation et donc d'augmenter la souplesse d'exploitation.

En temps sec, un marnage compris entre 2.7 m et 3.2 m est proposé. Il devra être testé par la suite et adapté si besoin.

En préparation du temps de pluie, le niveau est baissé, dans l'objectif de pouvoir stocker le surplus de boues épaissies dans les fosses et non dans les épaississeurs. La marge de manœuvre offerte par le volume des fosses est réel puisque même en étant limité à deux centrifugeuses, il serait possible d'évacuer des épaississeurs au moins 50 tMS/j (alors qu'en 2018, même lors de forts afflux massiques, la masse journalière de boues épaissies extraites n'a pas dépassé 35 tMS/J).

A la fin de ce travail de fin d'études, les aménagements nécessaires à la mise en place de ces points ont été listés et chiffrés lorsque c'était possible. Un planning de mise en œuvre du projet a été présenté.

X. LIMITES DU STAGE ET PERSPECTIVES POUR LA SUITE

La principale limite au travail réalisé dans ce stage est la non mise en pratique des solutions proposées. Dans l'idéal, il aurait été réalisé des campagnes de tests concernant :

- Le mode d'automatisation de l'extraction des boues biologiques et du flottateur proposé
- Le fonctionnement des centrifugeuses

La première campagne de test aurait permis d'ajuster les paramètres de fonctionnement du flottateur en fonction de la nouveau mode de régulation de l'extraction des boues biologiques proposé. Elle n'a pas pu être mise en place du fait du manque de disponibilité des automaticiens lors de la réalisation du stage.

Les essais de centrifugation auraient quant à eux permis de lever les doutes quant aux capacités d'adaptation de la déshydratation à diverses conditions de fonctionnement.

La détermination de paramètres optimaux de pilotage, (taux de traitement, couple/vitesse différentielle), en fonction de la charge massique d'alimentation, de la siccité et de la composition des boues mixtes, aurait pu permettre de réaliser un guide de pilotage servant de support aux équipes.

Ces essais non pas pu être mis en œuvre pour les deux principales raisons suivantes :

- La non-disponibilité des automaticiens en charge de la station
- La difficulté de perturber l'exploitation, en particulier pendant l'été où le personnel est moins nombreux sur le site

Les prochaines étapes à la suite de ce stage de fin d'études seront donc la réalisation de ces campagnes de tests et d'ajustement des stratégies et solutions préconisées.

D'autre part, une autre marge de manœuvre identifiée dans cette étude (mais pas étudiée) est l'optimisation du fonctionnement du four. Pour compléter ce travail sur la filière boue, il serait extrêmement intéressant de se pencher sur ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE

Arrêté du 09/09/97 modifié le 19/01/06,. (Publié au JO du 22/03/2016).

BLAZY, P., JDID, E.-A., & BERSILLON, J.-L. (1999). *Décantation - Aspects théoriques*. Techniques de l'Ingénieur - J3450v1.

BONNEAU, J. (1998). *Etude de faisabilité d'une mise en place de régulation par logique floue sur une centrifugeuse à boues fonctionnant en épaissement*.

CANLER, J., CAUCHI, A., FERNANDES, P., LARIGAUDERIE, A., LEMOUCHER, G., & PUJOL, R. (2002). L'épaulement des boues : les règles de bonne gestion. *TSM numéro 4*, pp 27-37.

CROSSLEY, I. A., & VALADE, M. T. (2006). A review of the technological developments of dissolved. *Journal of Water Supply : Research and Technology - Aqua - 5.7-8 - 13p*.

DEGREMONT. (2005). *Mémento Technique de l'eau. Tomes 1 et 2, Dixième édition, 1718 p*.

DELAUNOIS, C., & DASCOTTE, P. (2004). *Dimensionnement de Décanteurs continus à partir d'essais Batch*,. *Revue Scientifique des ISILF n°18*, 11p.

DUC, C. (2009). *Suivi et optimisation du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de la Communauté de Communes des Trois Frontières*. Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES: 84 p.

DURBAN, N. (2015). *Traitement du foisonnement filamenteux induit par Microthrix parvicella par ajout de sels métalliques : impact sur les boues activées*. *Autre. AgroParisTech 222p*. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur en Science de l'Eau - AgroParisTEch.

GRAND LYON. (2014). *Schéma d'Assainissement du Grand Lyon - 2015/2017 - Bassin Versant de la station de Pierre Bénite, 22p*.

GUIBELIN, E. (2014). *Caractéristiques et traitements des boues d'épuration*. Techniques de l'Ingénieur - G 1 450v2, 23 p.

Loi n° 92-646 du 13/07/92 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux ICPE. (JO n° 162 du 14/07/1992).

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. (s.d.). *Portail d'information sur l'assainissement communal, [en ligne] disponible sur <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>, consulté le 28/08/2018.* .

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE - GIS BIOSTEP. (2005). *FNDAE n°33 - Document Technique - Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions*. Cemagref - 124 p.

MOATAMRI, N. (2003). *De l'analyse du pilotage d'un décanteur centrifuge à son instrumentation*. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur en Génie des Procédés - ENSIA-AgroParisTech, 234 p.

PERRET, J., & CANLER, J. (2011). *La flottation en sortie de réacteur biologique MBBR*. *Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse - IRSTEA*, 48 p.

PREFET DU RHONE. (s.d.). *par l'Arrêté Préfectoral n°2000/1666 du 26 septembre 2000*.

RAMDANI, N. (2007). *Contribution à l'étude des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduaires. Effet sur la fertilité d'un sol sableux*. Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Magister "Science de l'Environnement et Climatologie", 154 p.

ANNEXE 1- RECAPITULATIF DES OUVRAGES DE LA STATION

OUVRAGE	N	Caractéristiques techniques
Prédégrilleurs	2	Largeur 3 m, entrefer 60 mm, tapis transporteurs pour évacuation déchets
Pompes relèvements	6	7 pompes de 4200 m ³ /h à 09 m HMT en fosse sèche, avec variateur de fréquence, 3 compartiments d'aspiration
Tamis	5	Largeur 1,20 m, maille 6 mm, vis pour évacuation des déchets vers deux compacteurs à vis
Dessableurs-Dégraisseurs	6	Ouvrages largeur 5 m, longueur 28 m, dispositif de reprise des sables par air lift vers classificateurs. Raclage pour reprise des graisses
Dépotage graisses extérieures	2	2 préfosse de stockage volume 35 m ³ avec dégrilleurs courbe à l'amont, maille 30 mm
Stockage des graisses	2	2 fosses de volume 200 m ³ agités
Concentrateurs à graisses	2	Surface unitaire 6 m ² , matériau acier inoxydable
Dépotage des matières de vidange	8	8 préfosse de volume 35 m ³ avec dégrilleurs compacteurs à l'amont
Dépotage des produits de curage	3	3 fosses de dépotage volume 50 m ³
Traitement des produits de curage	1	Reprise par grappin vers un trommel, maille 10 et 30 mm puis vers 2 unités de traitement de 5,5 t/h
Décanteurs lamellaires	6	Surface unitaire 218.3 m ² , raclage des boues par herse, raclage des flottants, système de nettoyage automatique des lamelles
Zones de mélange	4	Volume unitaire 712 m ³ , 1 agitateur par zone
Bassins d'aération	4	Volume unitaire 29412 m ³ , 8 agitateurs grandes pales par bassin, 1728 diffuseurs d'air par bassin
Surpresseurs aération	5	Type turbocompresseurs, débit unitaire 13500 Nm ³ /h
Dégazage	8	Surface unitaire 46 m ² , raclage automatique des écumes vers les fosses
Clarificateurs	8	Diamètre 55 m, pont sucé diamétral, réalisé en aluminium et acier inoxydable, lavage automatique goulotte par brosses et buses
Postes de recirculation des boues	8	8 postes équipés chacun de 2 pompes en tube, débit de 1062 m ³ /h avec variateurs de fréquence pour recirculation et 1 pompe débit 40 m ³ /h pour extraction
Flottateurs	2	Diamètre 16.7 m, hauteur cylindrique 3,50 m, pressurisation de type indirect, écope de reprise des boues flottées
Epaississeurs	3	Diamètre 22.5 m hauteur cylindrique 3 m, herse diamétrale
Stockage des boues épaissies	2	Volume unitaire 300 m ³ agitée
Centrifugeuses	4	Débit massique unitaire 1250 kg MS/j
Fosse dépotage boues extérieures	2	Centrifugeuses hautes performances avec double variation de fréquence
Alimentation four	2	2 de volume 30 m ³ avec double vis de reprise et pompes débit 10 m ³ /h
Four d'incinération	2	Pompes haute pression débit 20 m ³ /h
Traitement des fumées	2	Electrofiltre 2 champs, laveur basique, diamètre 2,4 m, ventilateur extraction fumées, débit 25 000 Nm ³ hum/h
Désodorisation	2	Débit unitaire 106 375 Nm ³ /h, 3 tours par ligne

Figure 37 - Récapitulatif des caractéristiques techniques des ouvrages de Piere Bénite

ANNEXE 2– PARAMETRES DE REGLAGES D’UNE CENTRIFUGEUSE EN FONCTION DE LA QUALITE DE LA BOUE DESHYDRATEE ET DES CENTRATS

Le Tableau 14, réalisé par (MOATAMRI, 2003) dans le cadre d’un travail d’optimisation de centrifugeuses d’une station d’épuration, liste les modifications de réglages possibles en fonction de la qualité des boues et des centrats. Sur le terrain, le réglage de l’anneau liquide se fait lors de la mise en route des centrifugeuses mais ne constitue pas par la suite un élément de pilotage usuel. Certains opérateurs préfèrent travailler en modifiant la valeur du couple plutôt que celle de la vitesse relative.

Boue Centrat	Trop humide	normale	Trop sèche
Laiteux / clair	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit polymère) ET diminuer la vitesse relative	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit du polymère) ET Diminuer la vitesse du bol	(Augmenter le débit des boues OU diminuer le débit de polymère) ET Diminuer la vitesse du bol ET Augmenter la vitesse relative
Laiteux / teinté	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Diminuer la vitesse relative ET Vérifier l'anneau liquide	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit du polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Vérifier l'anneau liquide	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit du polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Diminuer la vitesse du bol
Clair	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET diminuer la vitesse relative ET Augmenter la vitesse du bol	OBJECTIF atteint ne rien toucher	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit du polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Diminuer la vitesse du bol
Teinté avec Excès de polymère	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Augmenter la vitesse du bol ET Vérifier l'anneau liquide	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Augmenter la vitesse du bol ET Vérifier l'anneau liquide	(Augmenter le débit des boues OU Diminuer le débit polymère) ET Augmenter la vitesse relative ET Vérifier l'anneau liquide
Teinté avec un taux de polymère Correct ou Faible	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Diminuer la vitesse relative ET Vérifier l'anneau liquide	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Augmenter la vitesse relative	Augmenter la vitesse relative ET Vérifier l'anneau liquide
NOIR	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Vérifier l'anneau liquide	(Diminuer le débit des boues OU Augmenter le débit polymère) ET Vérifier l'anneau liquide	

Tableau 14- Paramètres d'ajustement du pilotage d'une centrifugeuse en fonction des caractéristiques de la boue déshydratée et du centrat (MOATAMRI, 2003)

ANNEXE 3- EXEMPLE DE CONDUITE DIFFERENCIEE SUR UNE JOURNEE DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES

La Figure 38 représente le volume cumulé d'extraction des boues biologiques par file.

On remarque deux inflexions nettes des courbes d'extraction. Vu l'heure, on peut supposer que la première inflexion est due à l'adaptation de l'extraction par rapport à la mesure de siccité. En revanche la deuxième inflexion a lieu directement après le changement de quart et est liée à une différenciation des manières de faire.

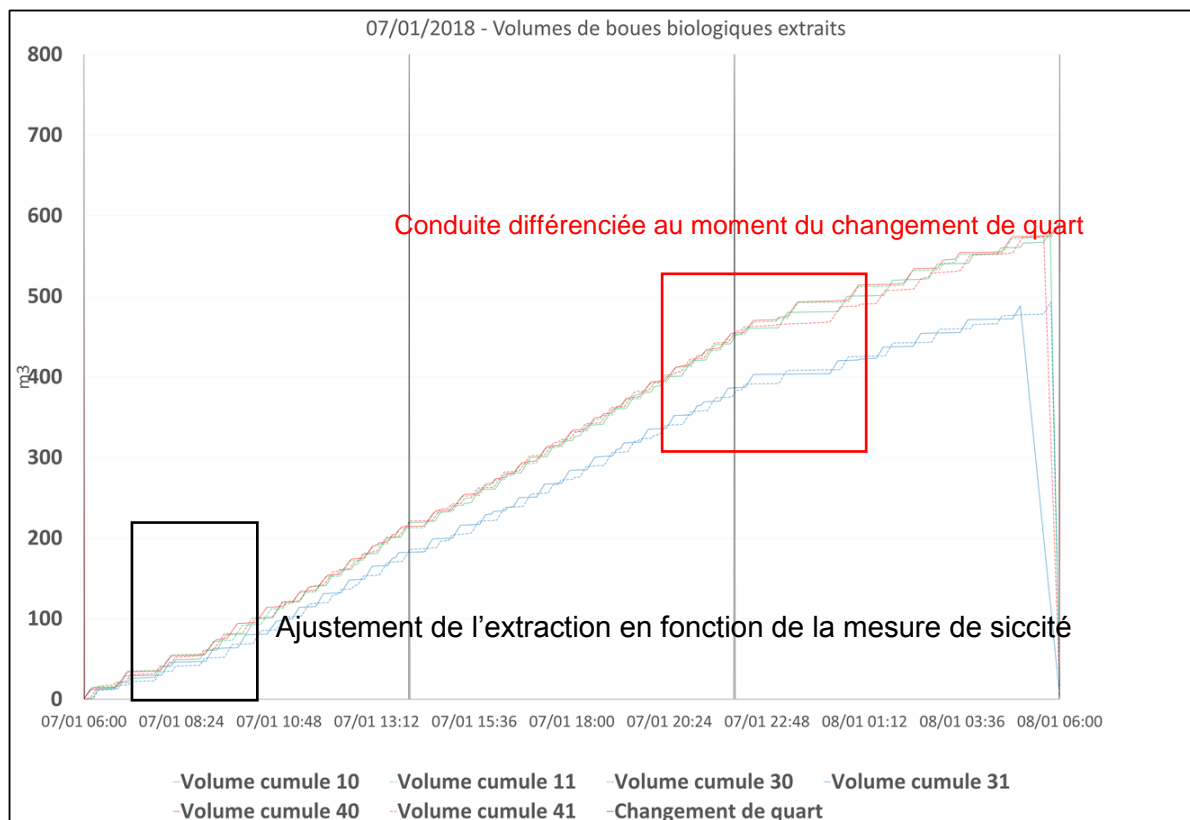


Figure 38 - Illustration de la différenciation de l'extraction des boues biologiques

ANNEXE 4- EVOLUTION DE MASSES DE BOUES PRIMAIRES EXTRAITES EN FONCTION DES PRECIPITATIONS

Le fonctionnement de l'étape de décantation primaire est fortement impactée par la pluviométrie.

Toutefois, comme le montre la figure ci-dessous, les quantités produites sont difficilement prévisibles.

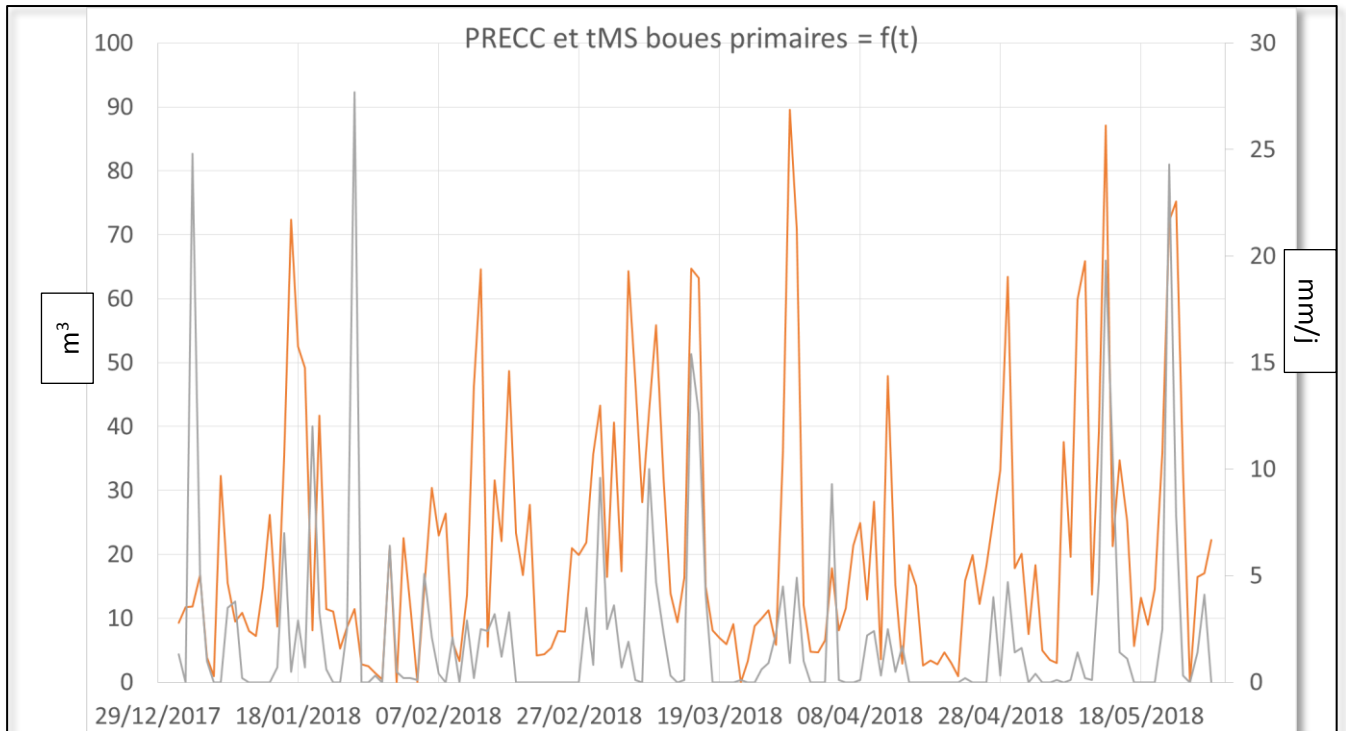
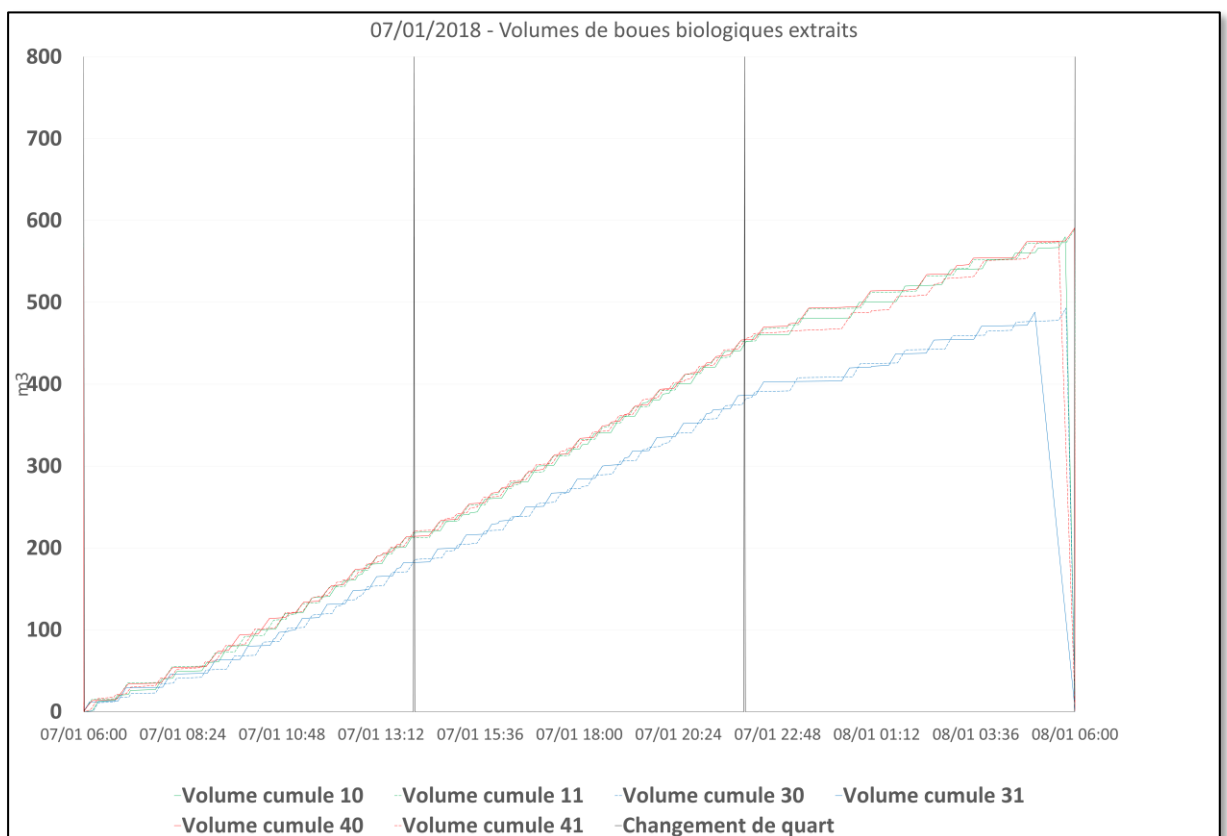


Figure 39 - Boues primaires produites et précipitation



ANNEXE 5 – ANALYSE DE LA GESTION D'UN EPAISSISSEUR LORS D'UN EVENEMENT PLUVIEUX

Cette annexe présente l'évolution du niveau de voile de boue et du couple d la herse dans un épaisseur lors d'un évènement pluvieux.

On remarque bien que le couple, tout comme le voile, restent élevés plus de 24 h après l'évènement.

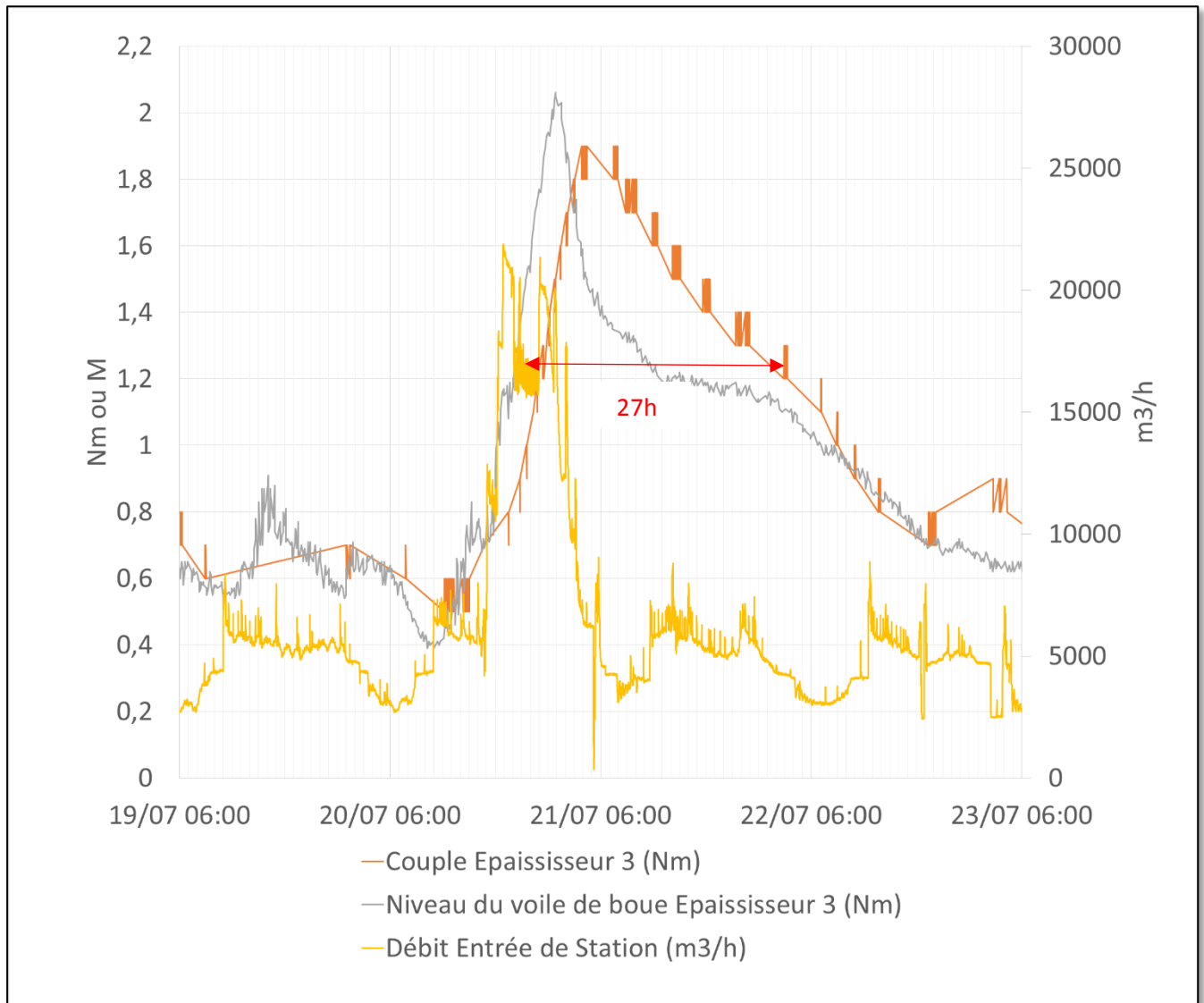


Figure 40 - Exemple d'évolution du couple et du voile de boue dans un épaisseur lors d'un évènement pluvieux

ANNEXE 6 – DETAIL DE L'ETUDE DES EVENEMENTS PLUVIEUX

Ce tableau détaille l'étude de la gestion des événements pluvieux.

Date Évènement Pluvieux	Valeur du Couple >1,2 Nm pendant plus de 24h ?
17-janv	Crue du Rhône et de la Saône : Évènement extrême non représentatif
18-janv	
19-janv	
21-janv	
12-févr	oui
13-févr	oui
17-févr	oui
02-mars	Manque de données
04-mars	Manque de données
06-mars	Manque de données
07-mars	oui
10-mars	oui
15-mars	oui
16-mars	oui
29-mars	Non
30-mars	oui
05-avr	oui
10-avril	Oui
29-avr	Oui
09-mai	oui
10-mai	oui
13-mai	Oui
22-mai	Difficulté d'interprétation
23-mai	non
01-juin	Oui
02-juin	non
14-juil	Difficulté d'interprétation car 2 Évènements rapprochés
15-juil	Oui
20-juil	Oui
28-juil	Non
04-sept	Non
06-sept	Oui

Tableau 15- Détail de l'étude des événements pluvieux

ANNEXE 7- DONNEES CONSTRUCTEURS DES POMPES D'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES

BE 004 35/G

**Communauté Urbaine de Lyon
Direction de l'Eau**



MODERNISATION DE LA STATION D'EPURATION DE PIERRE-BENITE



B	23/09/2002	HEP	P.BOUR	CHANGEMENT POMPE	P.BOUR
A	27/05/2002	HEP	P.BOUR	PREMIERE DIFFUSION	P.BOUR
IND	DATE	NOM	VERIFIE	MODIFICATIONS	APPROUVE
ECHELLE		UF 4			STATUT
		Pompe d'extraction des boues biologiques			AVS
		<small>TOUS DROITS RESERVES POUR TOUS PAYS 36/38 Route de la Princesse - BP10 78435 LOUVECIENNES CEDEX Tel : 01 30 78 49 00 Fax : 01 30 78 49 44</small>			
Format :	A4	AFFAIRE :	5222	CODIFICATIONS : 1 STE SPP DEG 0003	


SPECIFICATION TECHNIQUE PARTICULIERE
Pompe d'extraction des boues biologiques

1 STE SPP DEG 0003

IND B

Repère PID	REC PS 01-10, 01-11, 01-20, 01-21, 01-30, 01-31, 01-40, 01-41 (plus une de secours en atelier)	Quantité	9
------------	--	----------	---

1) INFORMATIONS TECHNIQUES	Données procédé	Données constructeur	ind
Marque		FLYGT	
Modèle		CP3127MT431	B
Type pompe	Submersible		
Fluide véhiculé	Boues biologiques		
Concentration (si produit particulier)	g/l	5 à 10	
Débit garanti (NFX 10601 Classe C)	m3/h	40	B
HMT (suivant marnage)	mCE	13,14	B
Vitesse nominale	tr/mn	1445	
Rendement hydraulique	%	44,1	B
NPSH requis	m	2,5	B
Hauteur de liquide mini en fonctionnement	mm	295	B
Diamètre au refoulement	mm	100	
Type de roue	canaux	monocanal	
Diamètre de passage libre	>80	90	B
Étanchéité à l'arbre	mécanique	Double GM	
Masse totale du groupe / pied d'assise	kg	142/35	B
2) CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT			
Intérieur d'un bâtiment	non		
humidité relative de l'air ambiant	%	100	
3) ACCESSOIRES			
Pied d'assise	oui	oui	
Diamètre de sortie du pied d'assise	mm	100	
Type de guidage		par barres	
Longueur système de guidage	# 7m (voir plan)	oui	
Nbre de support (inf. - inter. - sup.)		0/0/1	
Chaîne de levage (avec anneaux intermédiaires de reprise tous les 1,0m minimum) , longueur	m	# 7m (voir plan)	oui
Manilles	2	2	
Longueur de câble électrique	m	10	
Dispositif d'accrochage de la chaîne en point haut	oui	oui	
type	à préciser	Crochet sur patte sup.	
4) MATERIAUX ET REVETEMENTS			
Corps		FT25D	
Roues		FT25D	
Garniture supérieure		Carbone /Céramique	
Garniture inférieure		WCCR/WCCR	
Visseries		A2	
Système de guidage		Inox 316L	
Chaîne et manilles		Inox 316L	
5) CONTROLES ET ESSAIS			
En usine: essai groupe électropompe selon classe C	oui	oui	
6) PRESTATIONS SPECIFIQUES			
Validation du plan guide GC et d'implantation générale des	oui	oui	



SPECIFICATION TECHNIQUE PARTICULIERE
Pompe d'extraction des boues biologiques
 Moteur

1 STE SPP DEG 0003

IND B

1) CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES		Données procédé		Données constructeur	ind
Marque				Flygt	
Modèle				21-10-4AL	B
Puissance nominale plaquée moteur	Kw	> 1,1 P mécanique		4,7	B
Puissance mécanique absorbée à l'arbre	Kw			3,47	B
Puissance absorbée aux bornes	Kw			4,13	B
Tension de raccordement	V	400			
Alimentation	Fréquence / nombre de phases	50 / tri			
Intensité nominale plaquée moteur	A			9,6	B
Rendement moteur au point de fonctionnement	%			82,5	B
Facteur de puissance au point de fonctionnement				0,86	B
Rapport Id / In				5,83	B
Vitesse de rotation nominale	Tr/mn			1445	
Utilisation du variateur de vitesse		Oui	Non		
Tension de couplage	Y / Δ			Δ 400/660	B
Type de démarrage préconisé				Direct	
Nombre de démarrages à l'heure autorisés		minimum 6		15	
Nombre de démarrages consécutifs autorisés				3	
Indice de protection				IP68	
Classe d'échauffement du moteur		F		F	
Classe d'isolation des enroulements		F		H	B
Résistance anti-condensation					
2) CARACTERISTIQUES MECANIQUES		Données procédé			
Type paliers				Roulement à billes	
Lubrification/Etanchéité paliers				Graissés à vie	
Matériaux carcasse				FT25D	
3) SECURITES ELECTRIQUES PRIMAIRES		Données procédé			
Protection thermique des bobines (CPT / PT_100 / PTO / PTF)		2 si P>8kW		3PTO	
Protection thermique des paliers		Oui	Non	NON	
4) AUTRES INFORMATIONS		Données procédé			
Masse moteur	Kg			voir masse totale	
Durée de vie palier à roulement graissé à vie	h	> 25000		50000	
Durée de vie palier à roulement	h	> 80000			
Vibration (ISO 8821)		< classe N		Iso 9905	B

ANNEXE 8– SIMULATION DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES : MODE TABLE DE TEMPS

Cette annexe présente les résultats de simulation pour une table de temps complètement uniforme sur 24H.

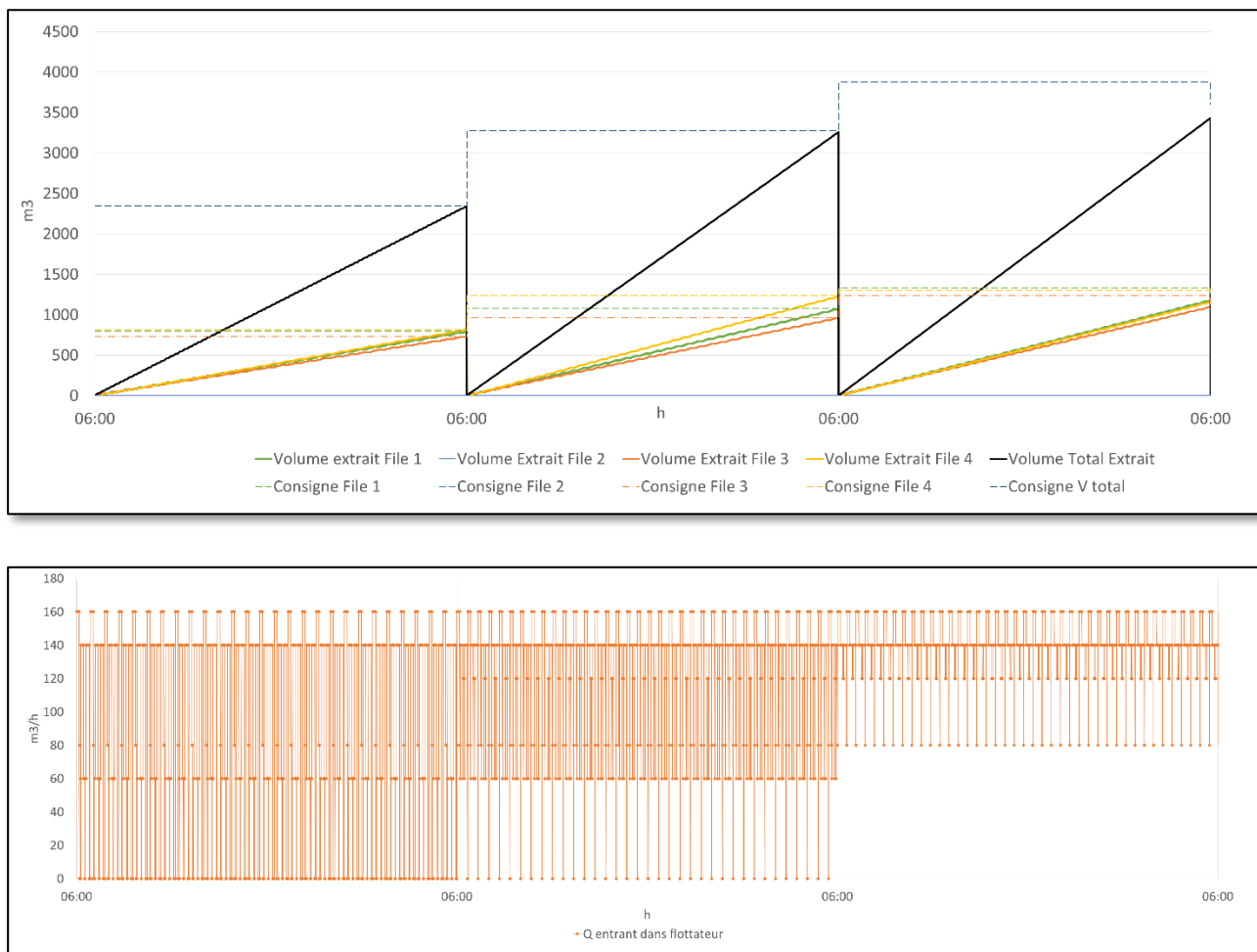


Figure 41 - Extraction des boues - Mode Table de temps - Résultats de simulation

ANNEXE 9- SIMULATION DE L'EXTRACTION BOUES BIOLOGIQUES – TABLE DE TEMPS AVEC TEMPS D'ARRET A LA FIN

Cette annexe présente les résultats de simulation pour une table de temps répartissant les temps d'arrêt nécessaire pour atteindre les consignes d'extraction à la fin de la journée. Les deux schémas de pompes fonctionnent en décalé de manière à toujours alimenter le flottateur.

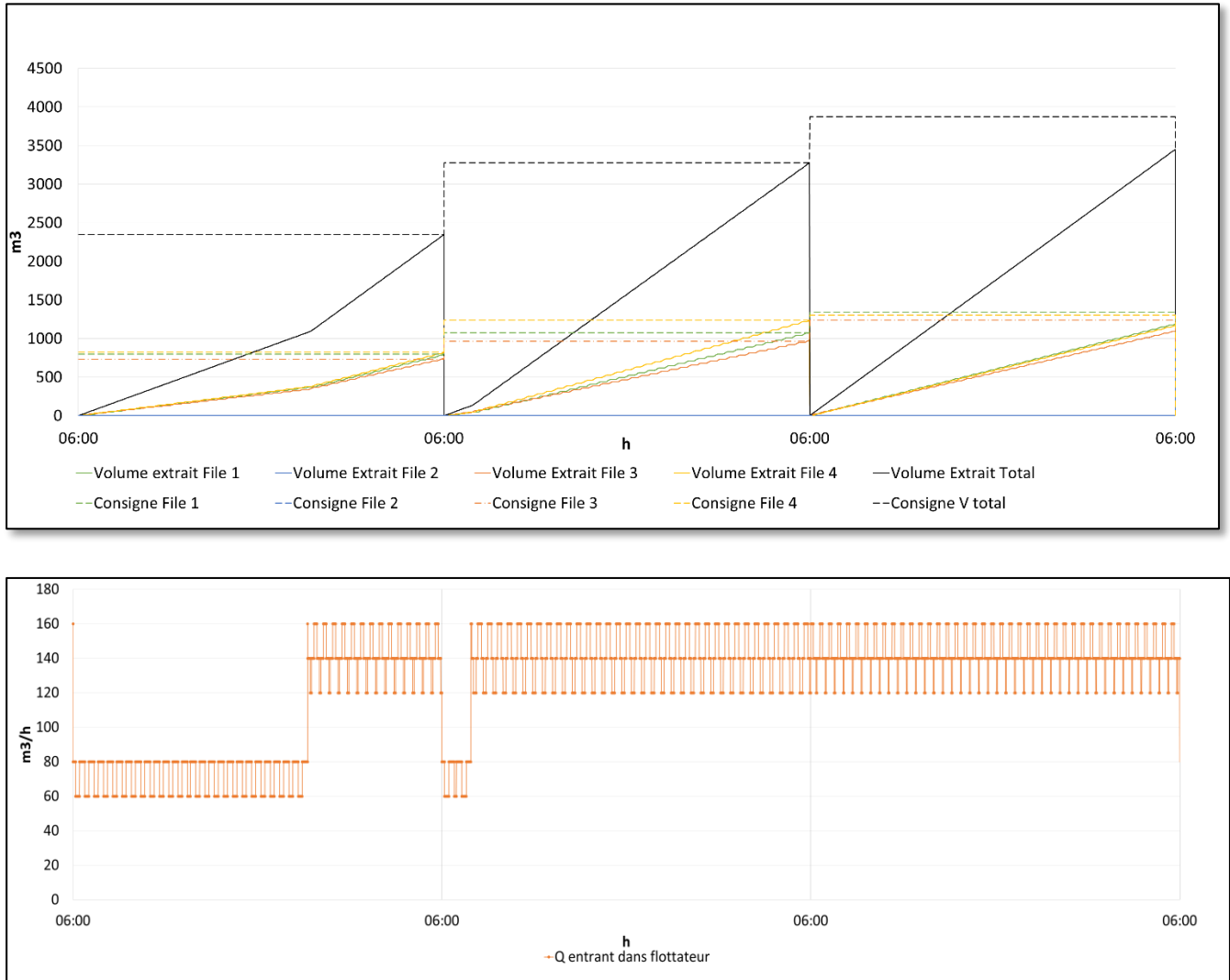


Figure 42 - Extraction des boues biologique - Mode Extraction avec temps d'arrêt à la fin - Résultats de simulation

ANNEXE 10 – SIMULATION DE L'EXTRACTION DES BOUES BIOLOGIQUES – MODE TABLE DE TEMPS DYNAMIQUE – ECART ENTRE LE DEBIT NOMINAL ET LE DEBIT REEL D'UNE POMPE

Cette annexe présente les résultats de simulations pour le Mode Table Dynamique, lorsque le débit de référence de deux pompes considérés pour le calcul de la table de temps sont différents des débits réels.

	Qnominal (m3/h)	Qréel (m3/h)
Pompe 10	80	80
Pompe 11	80	80
Pompe 20	80	80
Pompe 21	80	80
Pompe 30	80	80
Pompe 31	80	80
Pompe 40	80	65
Pompe 41	80	65

Tableau 16 - Débits de référence et débits réels considérés

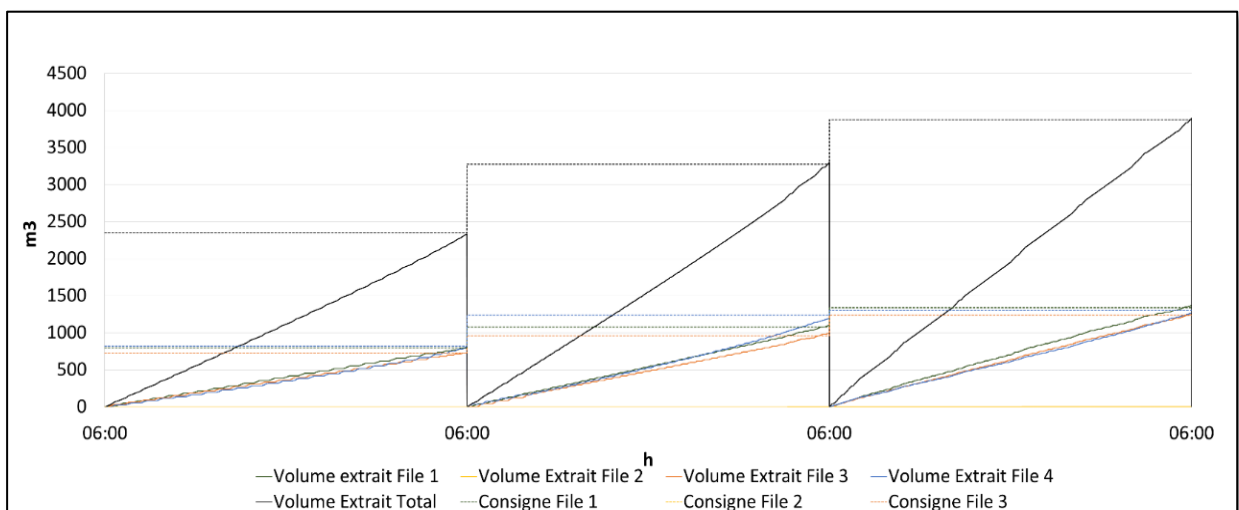
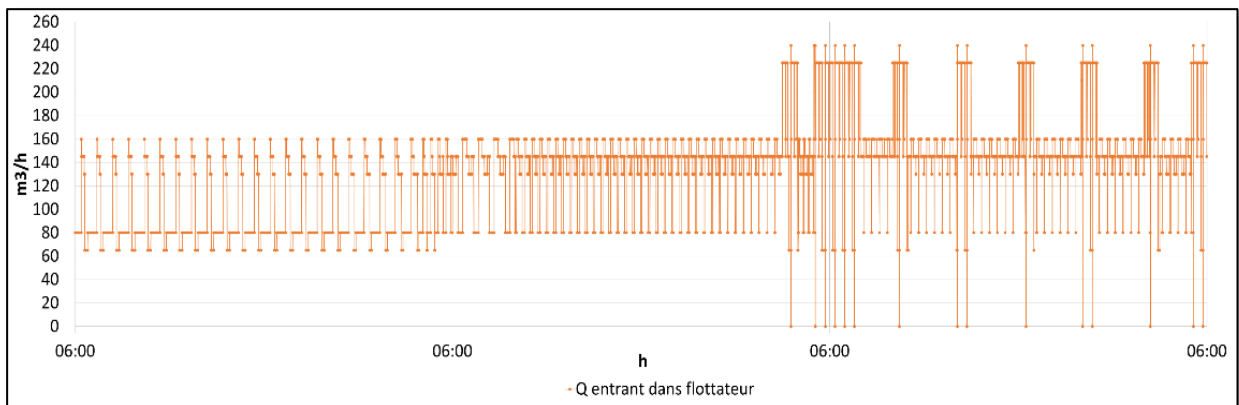


Figure 43 - Résultats de simulations pour le Mode Table de Temps Dynamique lorsque le débit de référence de deux pompes est différent du débit réel

ANNEXE 11– NOTE DE CALCUL POUR LE VOLUME DES FOSSES EN FONCTION DU NIVEAU

Cette annexe détaille le calcul du volume réalisé à partir de la mesure de niveau dans les fosses.

A partir de la connaissance de la géométrie des fosses (Figure 44), le volume contenu dans une fosse a été divisé en prismes, dont le volume était facilement calculable en fonction de la hauteur mesurée dans la fosse.

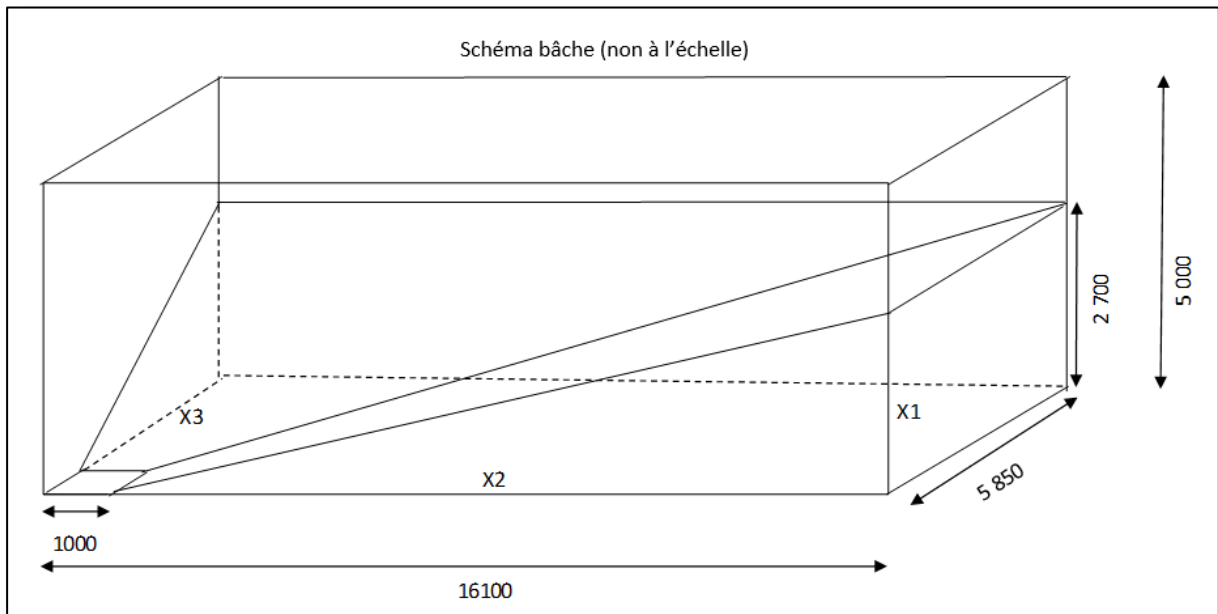


Figure 44 - Schéma d'une fosse d'homogénéisation (unité : mm)

En trancant la courbe $V=f(\text{Hauteur})$, on peut alors, grâce à une régression polynomiale déterminer l'équation permettant de calculer facilement le volume dans la bêche en fonction de la hauteur, pour une ou deux bêche (Figure 45).

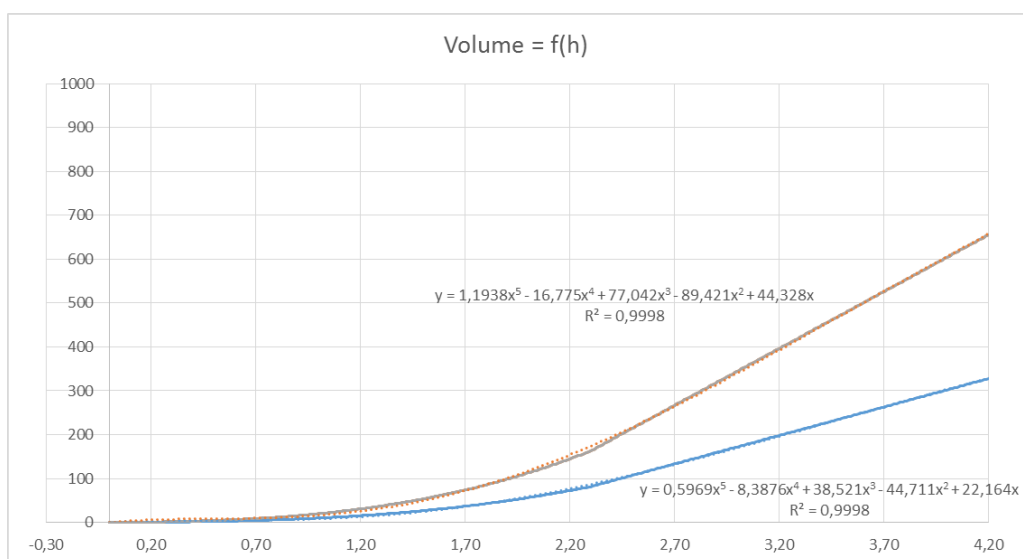


Figure 45 - Volume dans les bêches de boues mixtes en fonction de la hauteur

ANNEXE 12– NOTE DE CALCUL POUR L'ESTIMATION DES VOLUMES NECESSAIRES DE STOCKAGE DE BOUES MIXTES ET DE BOUES DESHYDRATEES

Cette annexe détaille les calculs réalisés et les hypothèses faites pour déterminer les volumes nécessaires au stockage de boues épaissies et de boues déshydratées.

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- **Masse journalière de boues flottées** = 13 tMS/j
- **Masse volumique des boues épaissies et des boues flottées** = 1 000 kg/m³
- **Siccité des boues flottées** = 4,5 %
- **Masse volumique des boues déshydratées** = 1 100 kg/m³
- **Siccité des boues déshydratées** = 27 % (valeur de siccité moyenne des boues déshydratées de Pierre Bénite)
- **Taux de capture des centrifugeuses** = 99% (Hypothèse haute, maximisant le volume de boue déshydratée à stocker dans les silos)

Les calculs sont alors les suivants :

- ❖ Calcul du volume de stockage nécessaire dans les fosses de mélange, en fonction de la siccité des boues épaissies et de la consigne d'alimentation des centrifugeuses

$$MB_{\text{boues flottées}} [tMB/j] = \text{siccité boues flottées} [\%] * MS_{\text{boues flottées}} [tMS/j]$$

$$MB_{\text{boues épaissies}} [tMB/j] = \text{siccité boues épaissies} [\%] * MS_{\text{boues épaissies}} [tMS/j]$$

$$MS_{\text{boues mixtes}} [tMS/j] = MS_{\text{boues épaissies}} [tMS/j] + MS_{\text{boues flottées}} [tMS/j]$$

$$MB_{\text{boues mixtes}} [tMB/j] = MB_{\text{boues épaissies}} [tMS/j] + MB_{\text{boues flottées}} [tMS/j]$$

$$\text{siccité}_{\text{boues mixtes}} [\%] = \frac{MS_{\text{boues mixtes}} \left[\frac{tMS}{j} \right]}{MB_{\text{boues mixtes}} \left[\frac{tMB}{j} \right]}$$

$$\text{Volume}_{\text{boues mixtes extraites}} \left[\frac{m^3}{j} \right] = \frac{MB_{\text{boues épaissies}} \left[\frac{tMB}{j} \right]}{\rho_{\text{boues mixtes}} \left[\frac{tMB}{m^3} \right]}$$

$$MS_{\text{boues mixtes déshydratées}} \left[\frac{MS}{j} \right] = n_{\text{centrifugeuses}} * 24 \left[\frac{h}{j} \right] * \text{Charge massique}_{\text{alimentation centrifugeuses}} \left[\frac{tMS}{h} \right]$$

$$MB_{\text{boues mixtes déshydratées}} \left[\frac{MS}{j} \right] = \frac{MS_{\text{boues mixtes}} \left[\frac{tMS}{j} \right]}{\text{siccité}_{\text{boues déshydratées}} [\%]}$$

$$\text{Volume}_{\text{boues mixtes pouvant être déshydratées}} \left[\frac{m^3}{j} \right] = \frac{MB_{\text{boues mixtes}} \left[\frac{tMB}{j} \right] * TC}{\rho_{\text{boues déshydratées}} \left[\frac{tMB}{m^3} \right]}$$

$$\text{Volume}_{\text{de stockage nécessaire de boues mixtes dans les fosses de mélange}} \left[\frac{m^3}{j} \right]$$

=

$$\text{Volume}_{\text{boues mixtes extraites}} \left[\frac{m^3}{j} \right] - \text{Volume}_{\text{boues mixtes pouvant être déshydratées}} \left[\frac{m^3}{j} \right]$$

- ❖ Calcul du volume de stockage nécessaire dans les silos de boues déshydratées en fonction du volume de boues déshydraté et du débit d'alimentation du four
-

$$\text{Volume}_{\text{boues déshydratées incinérées}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right] = 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{j}} \right] * \text{Débit}_{\text{alimentation du four en boues déshydratées interne}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right]$$

$$\text{Volume}_{\text{stockage nécessaire de boues déshydratées dans les silos}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right]$$

=

$$\text{Volume}_{\text{boues mixtes pouvant être déshydratées}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right] - \text{Volume}_{\text{boues déshydratées incinérées}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{j}} \right]$$

ANNEXE 13– SIMULATION POUR LE REGLAGE DES NIVEAUX ARRET/MARCHE DES CENTRIFUGEUSES PROPOSES

Cette section présente les résultats de simulation (pour les Scénarios Vmin/Vmoy/Vax) présentés précédemment dans ce rapport, pour le Mode de fonctionnement avec deux fosses en exploitation simultanée et les niveaux de consignes suivants :

Consigne Hauteur Démarrage Centrifugeuse 1	3,1 m
Consigne hauteur démarrage centrifugeuse 2	3,2 m
Consigne hauteur arrêt Centrifugeuse 1	2,7 m
Consigne hauteur arrêt Centrifugeuse 2	2,8 m

Tableau 17 - Niveaux de consigne proposés

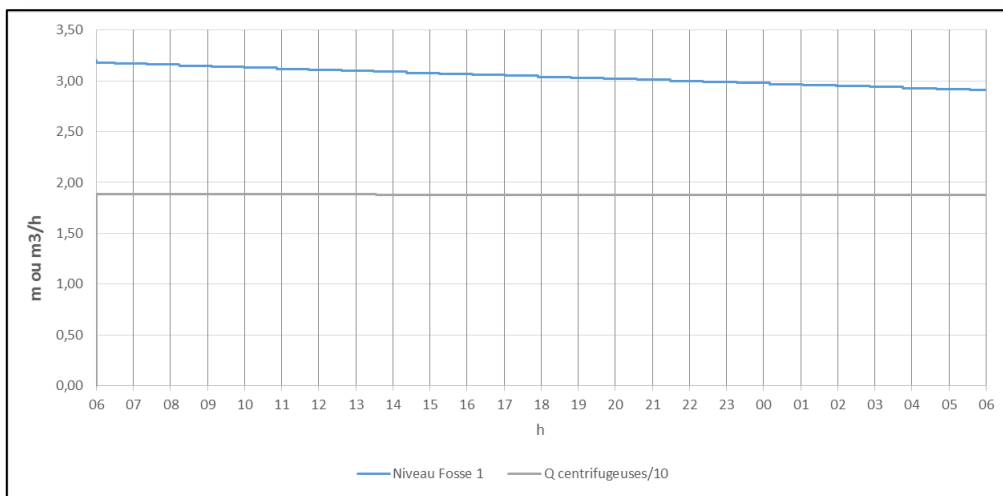


Figure 46 - Simulation Scénario Vmin

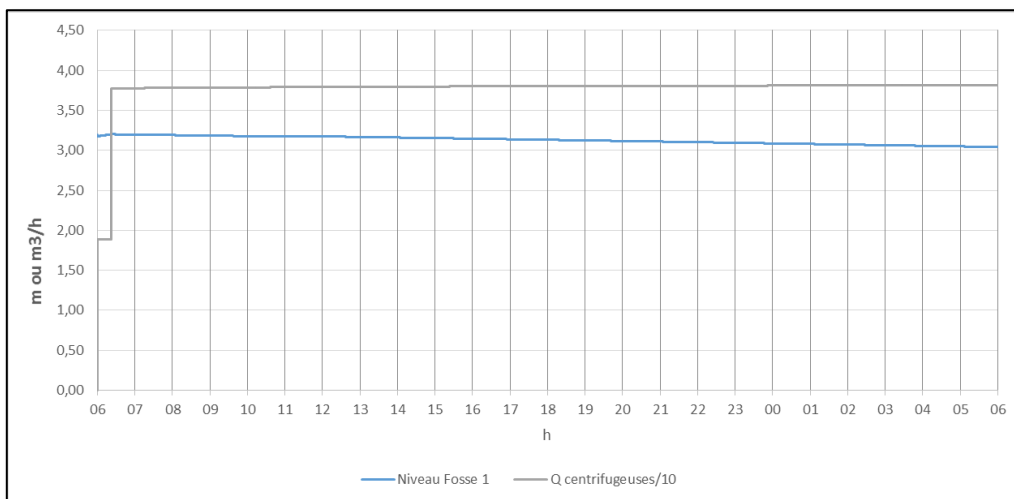


Figure 47 - Simulation Scénario Vmoy

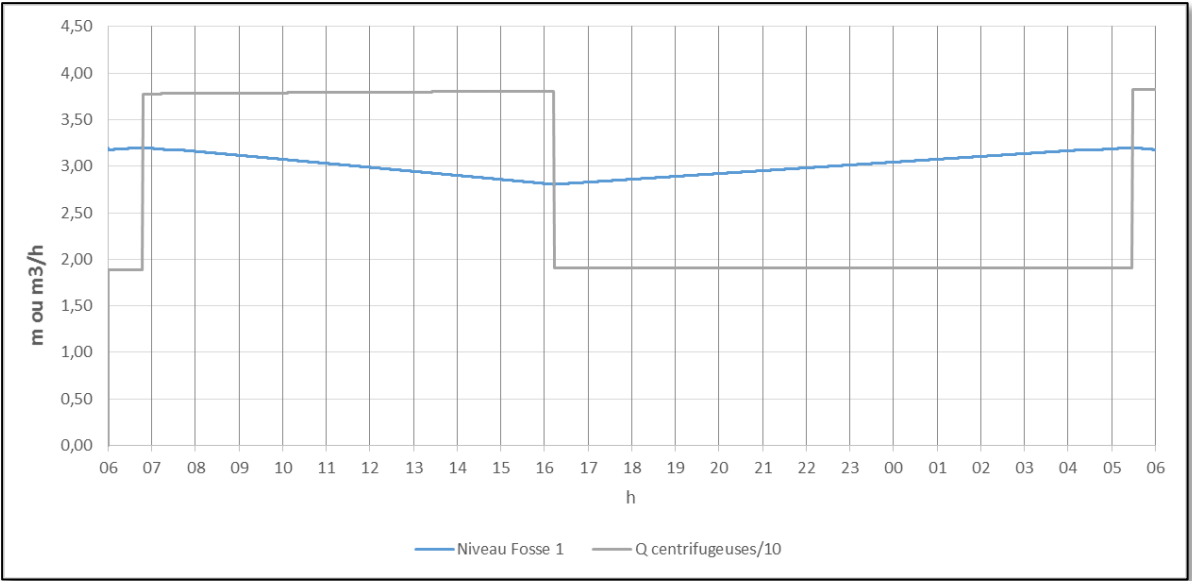


Figure 48 - Simulation Scénario Vmax