



**HAL**  
open science

**Analyse et optimisation de propositions constructeurs  
pour la réhabilitation, l'augmentation de capacité et  
l'intégration d'une étape de méthanisation et de  
valorisation du biogaz produit sur une station  
d'épuration d'environ 40 000 EH**

Mathieu Chalot

► **To cite this version:**

Mathieu Chalot. Analyse et optimisation de propositions constructeurs pour la réhabilitation, l'augmentation de capacité et l'intégration d'une étape de méthanisation et de valorisation du biogaz produit sur une station d'épuration d'environ 40 000 EH. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2017. dumas-03549308

**HAL Id: dumas-03549308**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03549308v1>**

Submitted on 31 Jan 2022

**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.

VERSION NON CONFIDENTIELLE

## RAPPORT DE STAGE

Mastère EPA 2016/2017

Analyse et optimisation de propositions constructeurs pour la  
réhabilitation, l'augmentation de capacité et l'intégration d'une étape  
de méthanisation et de valorisation du biogaz produit  
sur une station d'épuration d'environ 40 000 EH

Ingénieur-stagiaire : Mathieu CHALOT  
Maître de stage : Alexandre BOUVET  
Référent Ecole : Julien LAURENT

Date de soutenance : 14/11/2017

setec hydratec  
42-52 Quai de la Rapée  
Bâtiment Central Seine  
75012 Paris



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à remercier Alexandre BOUVET et François FIEVET, de m'avoir donné l'opportunité de rejoindre l'équipe de *setec hydratec* dans le cadre de ce stage de fin d'études. Les remarques et conseils que j'ai pu recevoir pendant ces 6 mois furent riches en enseignements, aussi bien sur les aspects techniques liés au traitement des eaux usées que sur la méthodologie de travail.

Merci également à mes parents de m'avoir supporté tout au long de ce projet, qui n'aurait pas été possible sans eux.

Enfin, comme promis, un grand merci à mes amis de mastère spécialisé, Abdel Khadri DIAKITE et Kawtar RASSI, et à mon camarade Clément MENDY, un grand homme avec qui j'ai eu l'honneur de travailler en projet Assainissement.

## **RESUME**

Le site de la station d'épuration de Ville A a connu trois générations d'installations depuis sa prise en charge par le MOA en 1963. En 1994, une refonte de la filière de traitement par boues activées avait permis d'atteindre la capacité actuelle de 25 000 EH.

En 2017, une réhabilitation avec augmentation de capacité à 42 000 EH est désormais nécessaire du fait de l'évolution des charges polluantes, de l'ancienneté de l'installation et de certaines difficultés observées en exploitation.

Le site reçoit actuellement des boues externes provenant d'autres stations gérées par le MOA. Représentant environ 10% de la production totale de boues obtenues en sortie de déshydratation, celles-ci sont soit déshydratées avec les boues produites sur la station, soit directement injectées en tête de file eau selon leur siccité.

Face à ce constat, et dans le but d'améliorer le fonctionnement global de la filière de traitement tout en générant des recettes supplémentaires, le MOA souhaite inclure une étape de digestion anaérobie dans la station future.

L'intégration de cette unité dans le fonctionnement de la station ne peut être considérée indépendamment mais doit faire l'objet d'une réflexion globale, de par la nature des boues nécessaires à son bon fonctionnement et des caractéristiques des flux de retours en tête propres à ce type de procédé.

L'objectif de ce stage est d'analyser les propositions constructeurs et d'identifier les pistes d'optimisation permettant d'obtenir les offres les plus abouties possibles vis-à-vis des exigences du Maître d'Ouvrage. Cette démarche doit permettre de contribuer à la faisabilité, à la bonne conduite et à la réussite de ce projet d'extension de station d'épuration.

La trame de ce mémoire est basée dans la mesure du possible sur la succession chronologique des grandes étapes de travail : prise de connaissance du contexte, formulation d'une méthodologie, recherche bibliographique, pré-dimensionnement et enfin analyse des offres.

## **ABSTRACT**

The Town A wastewater treatment plant (WTP) has known three generations of facilities since its management has been taken over by the MOA in 1993. In 1994, an overhaul of the activated sludge treatment process allowed the present plant to reach a capacity of 25 000 EH.

In 2017, a renovation and rehabilitation with an increase of capacity to 42 000 EH is now necessary, due to the increase of the pollution load, to the the age of the installation and to some operational difficulties.

The site presently receives external sludges from others WTP operated by the MOA. These quantities represent about 10% of the total sludge production of the site and are either dewatered along with the internal sludges or directly injected in the aeration basin depending on its dryness.

In view of this fact, the MOA wants to include an anaerobic digestion step so that it can both improve the sludge management and generate revenues through biogas production.

The integration of this unit in the overall functioning of the WTP cannot be treated independently and has to be the subject of an general reflection, due to the characteristics of the sludges necessary to this type of technology and to the return upstream of the effluent.

The goal of this internship is to analyze the offered solutions of the candidates and to identify optimization opportunities so that the MOA can choose between the most advanced offer possible. This should enable to increase the likelihood of success of this project.

This master's thesis is based on the chronological succession of events: knowledge of the context, formulation of a methodology, literature review, pre-design of the WTP and offer analysis.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL .....</b>	<b>9</b>
1.1. Présentation du groupe setec.....	9
1.2. Présentation de setec hydratec .....	9
<b>2. APPROCHE METHODOLOGIQUE.....</b>	<b>12</b>
2.1. Etape 1 : Travail préliminaire.....	12
2.2. Etape 2 : Etat de l'art.....	12
2.3. Etape 3 : Pré-dimensionnement de la station.....	12
2.4. Etape 4 : Préparation de la grille d'analyse .....	13
2.5. Etape 5 : Analyse des offres.....	13
2.6. Etape 6 : Formulation des questions .....	15
2.7. Etape 7 : Auditions .....	15
<b>3. CONTEXTE DU PROJET .....</b>	<b>16</b>
3.1. Présentation du maître d'ouvrage .....	16
3.2. Rôle de setec hydratec.....	17
3.3. Type de marché.....	17
3.4. Données géographiques et démographiques.....	18
3.5. Réseau d'assainissement.....	19
3.6. Données environnementales.....	20
<b>4. PRESENTATION DE LA FILIERE ACTUELLE .....</b>	<b>22</b>
4.1. Statut réglementaire de la station.....	23
4.2. Débits et charges caractéristiques .....	23
4.3. Apports extérieurs .....	24
<b>5. ELEMENTS DE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA METHANISATION.....</b>	<b>25</b>
5.1. Méthodologie de recherche documentaire .....	25
5.2. Aspects règlementaires généraux.....	26
5.3. Principes techniques de production de biogaz .....	26
5.4. Filières de valorisation possibles du biométhane .....	27
5.5. Techniques de traitement du biogaz .....	27
5.6. Impact de la digestion sur les performances d'une station d'épuration.....	28
5.7. Coûts d'investissement et rentabilité économique .....	28
<b>6. PREDIMENSIONNEMENT DE LA STATION.....</b>	<b>29</b>
6.1. Estimation des débits et charges futures.....	29
6.2. Dimensionnement des ouvrages .....	32
6.3. Digesteur et production de biométhane.....	35
6.4. Bilan énergétique.....	37
6.5. Bilan économique .....	38
6.6. Conclusions et perspectives.....	40
<b>7. ANALYSE DES OFFRES .....</b>	<b>41</b>
7.1. Données d'entrée .....	41
7.2. Process : file eau .....	43
7.3. Process : file boues .....	52
7.4. Valorisation du biogaz .....	56
7.5. Consommations de réactif.....	56
7.6. Bilan énergétique.....	57
7.7. Implantation générale .....	58
7.8. Continuité de service .....	59
7.9. Aspects Génie Civil .....	60

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Siège de setec .....	9
Figure 2 : Implantations de setec hydratec .....	10
Figure 3 : Périmètre d'action du MOA .....	16
Figure 4: Implantation de la station .....	18
Figure 5 : La Rivière .....	20
Figure 6 : Schéma synoptique de la filière existante .....	22
Figure 7 : Deux digesteurs et un gazomètre .....	26
Figure 8 : Chaudière biogaz, unité de cogénération, poste d'injection réseau .....	27
Figure 9 : Bactéries filamenteuses .....	28
Figure 10 : Profil hydraulique pour le traitement tertiaire .....	35
Figure 11: Parts des différentes étapes dans la consommation énergétique globale .....	37
Figure 12: Comparaison économique avec et sans unité de méthanisation .....	39
Figure 13 : Charges considérées pour le traitement biologique .....	42
Figure 14 : Comparatif des consommations énergétiques globales .....	57
Figure 15 : Comparatif des évolutions de consommations et de production énergétiques .....	58
Figure 16 : Zone d'implantation possible des digesteurs et bâches associées à la méthanisation .....	59

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Découpage en tranches du marché .....	18
Tableau 2 : Population raccordée à la station .....	19
Tableau 3 : Préconisations pour les fondations des ouvrages .....	21
Tableau 4 : Valeurs de limites de rejet de la station .....	23
Tableau 5 : Fréquences minimales d'analyses dans le cadre de l'autosurveillance .....	23
Tableau 6 : Débits et charges actuelles arrivant sur la station (2015) .....	23
Tableau 7 : Apports de boues extérieures sur la station .....	24
Tableau 8 : Données de projection de population du MOA .....	29
Tableau 9 : Détermination du débit à l'horizon 2030 .....	29
Tableau 10 : Détermination du volume du bassin d'orage .....	30
Tableau 11 : Détermination des charges futures à l'horizon 2030 .....	30
Tableau 12 : Charges nominales de la station réhabilitée .....	30
Tableau 13 : Pourcentage de retours en tête issu d'une déshydratation de digestats .....	31
Tableau 14 : Estimation des flux de retours en tête .....	31
Tableau 15 : Rendement du traitement primaire .....	32
Tableau 16 : Productions de boues secondaires .....	33
Tableau 17 : Vérification des durées de syncopage (heures/jour) .....	34
Tableau 18 : Production de boues mixtes épaissies .....	35
Tableau 19 : Paramètres de fonctionnement d'un digesteur anaérobie .....	36
Tableau 20 : Pré-dimensionnement du digesteur .....	36
Tableau 21 : Estimation de la production de biométhane .....	36
Tableau 22 : Consommation énergétique d'une unité d'épuration membranaire du biogaz ..	37
Tableau 23: Bilan énergétique prévisionnel .....	38
Tableau 24 : Bilan économique prévisionnel .....	38
Tableau 25 : Charges considérées pour le dimensionnement .....	42
Tableau 26: Propositions constructeurs pour le bassin d'orage .....	43



Tableau 27 : Propositions constructeurs pour le poste de relèvement .....	44
Tableau 28 : Hypothèses de dimensionnement des décanteurs lamellaires (unitaire) .....	45
Tableau 29 : Hypothèses d'abattement sur le traitement primaire .....	46
Tableau 30: Hypothèses de production de boues primaires .....	46
Tableau 31: Volumes pris en compte pour le traitement secondaire .....	46
Tableau 32: Flux entrant sur le traitement secondaire .....	47
Tableau 33 : Hypothèses de production de boues biologiques.....	47
Tableau 34 : Comparatif des âges de boues obtenus.....	48
Tableau 35 : Comparatif des flux de retours en tête .....	49
Tableau 36 : Comparatif des traitements des retours en tête .....	49
Tableau 37 : Comparatif des taux d'abattement des retours en tête.....	50
Tableau 38 : Comparatif des flux de retours en tête traités .....	50
Tableau 39: Comparatif des calages hydrauliques au point de rejet .....	51
Tableau 40 : Comparatif des hypothèses de siccité sur les boues .....	52
Tableau 41 : Vérification du dimensionnement des tables d'égouttage (Candidat 1) .....	52
Tableau 42: Flux entrant en digestion .....	53
Tableau 43 : Comparatif des co-intrants .....	53
Tableau 44: Hypothèses de dimensionnement du digesteur et production de biogaz.....	54
Tableau 45 : Comparatif du fonctionnement des digesteurs.....	55
Tableau 46 : Comparatif des consommations de réactifs .....	56
Tableau 47 : Comparatif des conservations/démolitions de l'existant.....	60

## TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 :	Extrait de la grille d'analyse (cahier de performances)
ANNEXE 2 :	Extrait de la grille d'analyse (analyse process)
ANNEXE 3 :	Extrait des questions posées au Candidat 1
ANNEXE 4 :	Extrait des questions posées au Candidat 2
ANNEXE 5 :	Extrait des questions posées au Candidat 3
ANNEXE 6 :	Schéma synoptique de la filière du Candidat 1
ANNEXE 7 :	Schéma synoptique de la filière du Candidat 2
ANNEXE 8 :	Schéma synoptique de la filière du Candidat 3
ANNEXE 9 :	Eléments descriptifs de la filière existante
ANNEXE 10 :	Points d'amélioration possibles de la station
ANNEXE 11 :	Calcul des pertes de charge pour le calage hydraulique
ANNEXE 12 :	Note de calcul de pré-dimensionnement
ANNEXE 13 :	Références bibliographiques

## **1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL**

### **1.1. Présentation du groupe setec**

L'entreprise setec hydratec est une société du groupe Setec, l'une des plus importantes sociétés d'ingénierie française, fondé en 1957. Le site internet du groupe est accessible à l'adresse <http://www.setec.fr>.

Setec rassemble aujourd'hui plus de 2400 collaborateurs en France et à l'international, répartis dans une vingtaine de sociétés en France et une dizaine à l'International. Le Groupe a réalisé en 2015 un chiffre d'affaires consolidé supérieur à 250 millions d'euros.



Figure 1 : Siège de setec

Le groupe SETEC est organisé en sociétés spécialisées, qui sont actives dans les domaines suivants :

- Transports & Infrastructures
- Bâtiment
- Environnement
- Energies & Industries
- S'y ajoutent SETEC AS pour la gestion du personnel, la comptabilité et les affaires juridiques et SETEC Consultants qui assure la cohésion du Groupe.

### **1.2. Présentation de setec hydratec**

L'entreprise *setec hydratec* est un bureau d'études techniques fondé en 1974 employant 150 collaborateurs œuvrant dans tous les domaines de l'ingénierie de l'eau, pour le compte de collectivités territoriales, des services de l'Etat et de clients privés.

#### **1.2.1. Organisation**

Créée en 1974 sous la forme d'une Société Anonyme, la société a changé de raison sociale pour adopter *setec hydratec*, et de forme juridique, en devenant une Société par Actions simplifiées (SAS) ; le capital social est de 152 760€ et le chiffre d'affaires d'environ 13.5 M€ en 2015.

Le capital de la société est entièrement détenu par des salariés actifs du groupe Setec, à travers deux Sociétés Civiles distinctes :

- Société Civile *setec consultants*, actionnaire majoritaire à 53% : société civile dont les associés sont les cadres majeurs des différentes sociétés du groupe Setec (une soixantaine d'associés en 2016), tous salariés actifs du groupe Setec
- Société Civile *setec hydratec*, actionnaire minoritaire à 47% : société civile dont les associés sont les cadres de *setec hydratec* (42 associés en 2016)

Ce mode d'actionnariat est commun à l'ensemble des sociétés du groupe Setec, qui ont en outre toutes le même actionnaire majoritaire commun (*setec consultants*). Les entrées au sein des sociétés civiles se font par cooptation des associés.

L'indépendance de *setec hydratec* vis-à-vis des groupes financiers et industriels œuvrant dans les domaines de l'eau ou de la construction est donc totale.

### 1.2.2. Implantations

La société est implantée sur toute la France comme suit :

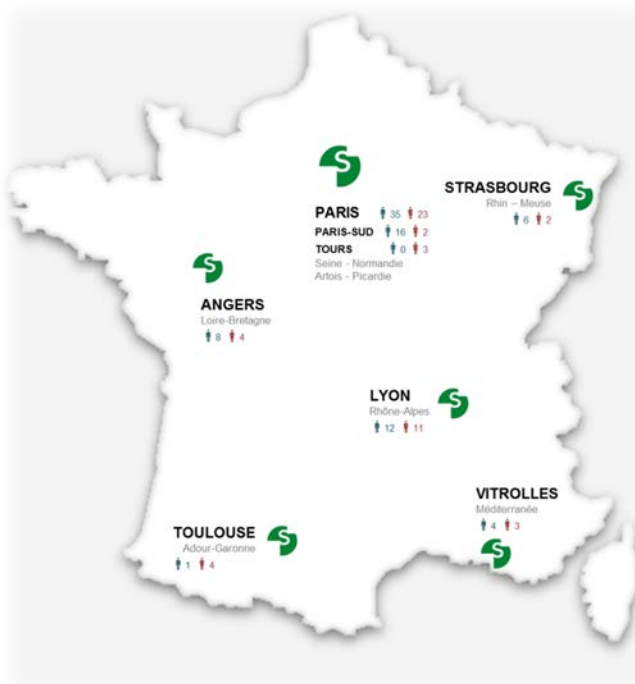


Figure 2 : Implantations de *setec hydratec*

Le **siège** est Paris, Gare de Lyon.

#### 1 agence francilienne :

- Lieusaint (77)

#### 6 agences en province :

- Rhône-Méditerranée-Corse :  
Lyon (69), Vitrolles (13)
- Loire-Bretagne :  
Angers (49), Tours (37)
- Adour-Garonne :  
Toulouse (31)
- Rhin-Meuse :  
Strasbourg (67)

### 1.2.3. Les métiers de setec hydratec

#### 1.2.3.1. *Les types de missions*

Dans ses domaines techniques de compétence, *setec hydratec* est susceptible d'intervenir à chaque stade de la vie d'un projet :

- Etudes générales, schémas directeurs
- Etudes de faisabilité, de programmation
- Maîtrise d'œuvre complète (conception et suivi des travaux), assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO),
- Etudes de conception détaillée / d'exécution
- Dossiers réglementaires,
- Diagnostics et expertises.

### 1.2.3.2. Domaines d'activités

Les domaines techniques de compétence sont :

- **Hydraulique urbaine** : étude des réseaux d'eau potable, d'assainissement (EU, EP) et des ouvrages associés (réservoirs, bassins de stockage, stations de pompage, ouvrages de traitement en réseau, équipements) ;
- **Hydraulique fluviale** : aménagements de cours d'eau, étiages, crues et inondations, navigation, digues et barrages ;
- **Traitement de l'eau** : usines de toute taille et de toute technologie adaptées aux besoins des collectivités et des industriels : traitement d'eaux usées, d'eau potable, effluents industriels ;
- **Environnement industriel** : traitement d'eau industriel, process industriel ;
- **Aéraulique** : expertise en aéraulique appliquée aux problèmes aérodynamiques, aérothermiques et pollution rencontrés dans la conception et l'exploitation des systèmes de ventilation des tunnels et des émissaires. Cette expertise s'appuie sur un logiciel dédié « express-air », certifié CETU, développé par setec hydratec et utilisé par le groupe setec ;
- **Hydrogéologie** : études des ressources souterraines en eau, modélisation des écoulements souterrains (2D/3D), études hydrodispersives sur les polluants ;
- **Sites et sols pollués** : caractérisation de la pollution des sols, étude des dispositifs de remédiation ;
- **Hydraulique maritime** : hydrodynamique maritime, conception d'ouvrages portuaires ou littoraux, études d'agitation, et gestion du littoral ;
- **Métrologie** : mesure et diagnostic des milieux aquatiques et des réseaux ;
- **Hydro-informatique** : développement et commercialisation de logiciels de modélisation des écoulements (gravitaire, sous pression, air).

### 1.2.4. Quelques références « historiques »

- **Schéma directeur Eau potable** : SEDIF (MOA des Eaux d'Ile de France)
- **Schéma directeur Assainissement** : SIAAP (2011-2016) ; Grand Nancy (2009)
- **Schéma directeur Eaux pluviales** : Marseille Provence Métropole (2016-2017) ;
- **STEPS** : La Baule / Caen / Lille Marquette / Fontainebleau / Orléans
- **Usines AEP** : Finfarine (85) / Longeron (49) / St Etienne (42)
- **Industriels** : EDF (audit centrales nucléaires) / Chinon (37) / Cattenom (57)
- **Bassins de stockage des eaux urbaines** : Clichy (92) / Compiègne (60) / Arras (62) / Montpellier
- **Réseaux d'assainissement** : Joigny (89) / Le Raincy (93) / Sartrouville (78)
- **Etudes en rivières** : Prévision des crues, Seine / Vallée de la Maurienne (73) / Cher (18) / Bassin de la Marne
- **Ouvrages en rivière** : Ouvrages de surstockage de Longueil Ste Marie (Entente Oise Aisne) / Déversoir du Maresquier (Ouireham), canal de la Presqu'île à Caen / Barrage écrêteur de crue, ruisseau de la Duchère (69) / Reconstruction des digues du Reyran (83)
- **Maritime** : Route du Littoral, La Réunion / Projet Red Sea Dead Sea (Jordanie) / Baie de Propriano (2A) / Criel-sur-Mer (76) / Ault (02) / Cannes (06)

## **2. APPROCHE METHODOLOGIQUE**

Un dossier de réponse à un appel d'offre est particulièrement fourni. La manière de présenter, de justifier, de situer ou même d'inclure ou non certaines informations peut fortement varier d'un candidat à l'autre. Etre capable de naviguer rapidement entre les documents à la recherche d'informations tout en gardant à l'esprit le niveau de détail nécessaire (et suffisant) est alors déterminant. La mise en place d'une méthodologie précise est indispensable afin de gagner en rapidité et en efficacité.

En s'appuyant sur les conseils fournis et sur les expérimentations progressives, il a fallu définir une méthode de travail permettant d'aborder correctement la mission qui était confiée. La partie qui suit a pour objectif de décrire la démarche suivie, dans un souci de formalisation et de partage d'expérience.

### **2.1. Etape 1 : Travail préliminaire**

Les offres constructeurs sont arrivées début juin, soit environ un mois après le début du stage. Cette période a permis de préparer sereinement le travail d'analyse comparative. Il a d'abord fallu commencer par prendre connaissance des attentes du Maître d'Ouvrage (MOA) en examinant le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). Afin de mieux cerner le contexte, deux documents résultant d'études préalables menées par le MOA étaient également à disposition :

- *Etude éco-environnementale pour la refonte des filières eau et boue à la station d'épuration de Ville A, Août 2013*
- *Etude pré-opérationnelle de restructuration de la station d'épuration de Ville A, Septembre 2014*

Ces études ont permis de se familiariser avec la filière existante et de commencer à envisager les évolutions possibles pour la réhabilitation de la station (voir Chapitre 3 et 4).

### **2.2. Etape 2 : Etat de l'art**

Avant d'effectuer les vérifications relatives au dimensionnement de la station, un travail de recherche bibliographique fut nécessaire afin de développer des connaissances liées à la méthanisation : aspects réglementaires (ajout de co-intrants extérieurs notamment), mise en œuvre du procédé de digestion anaérobie, dimensionnement, impact des retours en tête, technologies d'épuration du biogaz, modes de valorisation etc. (voir Chapitre 5).

### **2.3. Etape 3 : Pré-dimensionnement de la station**

Ce projet de réhabilitation vise à réutiliser les ouvrages du traitement secondaire existant. Il a donc fallu effectuer un travail de pré-dimensionnement visant à vérifier la faisabilité de cette approche en incluant une étape de traitement primaire dans la filière (voir Chapitre 6). Un volet digestion a également été intégré dans la note de calcul pour avoir un ordre de grandeur du potentiel de production de biogaz sur la station, en s'appuyant sur les données issues du travail de recherche bibliographique.

#### **2.4. Etape 4 : Préparation de la grille d'analyse**

Réalisée sous Excel, cette grille constitue à la fois un outil de travail interne et de communication. Elle permet de disposer d'un moyen d'accéder rapidement aux informations relevées lors de la lecture des offres mais aussi, et surtout, de formaliser le travail de notation vis-à-vis du MOA. Par conséquent, la trame de la grille reprend les informations présentées dans le Règlement de Consultation (RC) et fait ressortir les critères de notation qui y sont indiqués.

#### **2.5. Etape 5 : Analyse des offres**

Après avoir réalisé ces étapes préalables, nous avons pu procéder à l'ouverture des offres. Après avoir parcouru les documents de synthèse de chaque candidat (environ 10 pages chacun), il a été décidé d'aborder l'analyse en se concentrant sur les mémoires justificatifs des filières de traitement. Ces documents, fournis par tous les candidats, ont l'avantage d'être extrêmement complets (de l'ordre de 100-150 pages chacun). Chaque étape des filières y est précisément justifiée : procédé, fiabilité, sécurité, manutention, ergonomie etc. Ce degré de précision, qui peut sembler être un atout pour commencer, n'a finalement pas permis de dégager une vision globale des filières proposées. L'abondance de détails a conduit à relever dans la grille d'analyse un grand nombre d'informations peu discriminantes, donc peu utiles au regard de l'objectif de l'exercice. Afin de ne pas se perdre dans les données, il est impératif de savoir chercher efficacement dans les dossiers fournis par les candidats. Sans structurer correctement cette étape, le travail d'analyse peut rapidement devenir fastidieux.

Plusieurs concertations avec le maître de stage ont donc été nécessaires afin de formuler une nouvelle stratégie et d'aboutir à une approche méthodique, adaptée à notre niveau d'expérience.

L'analyse doit être effectuée de manière graduelle, en raisonnant d'abord de manière macroscopique puis en allant progressivement dans le détail en fonction des besoins de discrimination entre les candidats et des attentes du MOA. Dans un premier temps, il est donc indispensable de négliger volontairement un certain nombre d'informations afin de dégager une vue d'ensemble des offres constructeurs. Cette prise de hauteur s'est avérée payante et celle-ci s'applique finalement systématiquement dès lors sujet paraît trop complexe au premier abord. En se basant sur ce principe, les tâches ont été hiérarchisées de la manière suivante pour la partie process :

- Analyse « verticale » (1 candidat à la fois):
  - Lecture du document de synthèse
    - ✓ Dégagement d'une vue d'ensemble
    - ✓ Renseignement des principales étapes dans la grille d'analyse (niveau de détail faible et souvent incomplet)
  - Analyse des schémas PID (Piping and Instrumentation Diagram)
    - ✓ Validation/révision des informations issues du document de synthèse

- ✓ Renseignement des principales étapes dans la grille d'analyse (niveau de détail moyen mais complet)
  - ✓ Compréhension des connexions entre les différents organes et construction d'un schéma synoptique pour chacune des offres
- Balayage du document descriptif des équipements installés
  - ✓ Validation/révision des informations issues des schémas PID
  - ✓ Renseignement des principaux équipements dans la grille d'analyse (niveau de détail fin)
- Analyse « horizontale » (3 candidats simultanément) :
  - Homogénéisation des schémas synoptiques
    - ✓ Création d'une base graphique commune pour faciliter la comparaison (document de travail interne et de communication avec le MOA)
  - Analyse des plans masse
    - ✓ Visualisation de l'implantation des principaux ouvrages et jugement de l'ergonomie globale de l'offre (exploitation, maintenance etc.)
    - ✓ Premier dégagement d'hypothèses sur la phase d'études et de réalisation des travaux (EXE) : conservation/démolition d'ouvrages existants, fondations, travaux en nappe, contraintes de phasage etc.
  - Balayage des mémoires justificatifs des filières
    - ✓ Validation/révision des informations relevées et recherche de détails spécifiques selon besoins de discrimination (niveau de détail très fin)
  - Notes de dimensionnement
    - ✓ Comparaison des hypothèses et jugement de leur niveau de fiabilité

On remarque que dans cette méthode, la lecture des mémoires justificatifs des filières s'effectue uniquement à la fin pour valider et affiner le travail d'analyse comparative.

La notion d'analyse verticale et horizontale est importante et leur dissociation est nécessaire puisque ces exercices ont une finalité différente. La première consiste à lister des informations pour dégager une vue générale de chaque offre tandis que la seconde permet de réaliser le travail de comparaison. Afin de formaliser clairement la méthode, il a été choisi de présenter ces deux types de lectures de manière séparée et successive. Toutefois, il est évident qu'avec la pratique et l'entraînement, les deux analyses tendent à se confondre, puisque la comparaison s'effectue naturellement dès l'analyse verticale de la seconde offre, et de manière encore plus accentuée lors de l'analyse verticale de la troisième, de par le dégagement d'une vision globale des offres proposées.

Néanmoins, l'ordre logique reste de réaliser ces lectures dans ce sens. En effet, effectuer une analyse horizontale des offres sans avoir une compréhension globale des connexions entre les ouvrages peut conduire à une interprétation faussée de certains critères. A titre d'exemple, le Candidat 1 ne dispose pas d'une étape de tamisage fin entre le dégrillage grossier et le déssablage dégraissage comme préconisé dans le DCE. Ceci se justifie par la

présence en amont d'un traitement primaire par filtration et non par décantation lamellaire (voir Chapitre 7). Une fois l'analyse purement technique achevée, plusieurs facteurs restent à prendre en compte, notamment en termes de faisabilité, de réalisation et d'exploitabilité de la station. Les documents suivants doivent donc être parcourus afin de compléter l'analyse :

- Note de phasage des travaux
- Mémoire « GC/Fondations »
- Mémoire « Electricité-Contrôle-Commande »
- Mémoire « Exploitation »
- Mémoire « Fiabilité »
- Etc.

Bien que ces aspects aient représenté une partie notable du travail fourni, il a été volontairement choisi de mettre en avant l'analyse de la partie process dans ce mémoire. En prenant en compte l'ensemble des informations, la grille d'analyse comparative produite lors de ce stage compte près de 1200 lignes. Les annexes 1 et 2 permettent d'en visualiser quelques extraits.

## **2.6. Etape 6 : Formulation des questions**

La procédure autorise le MOA, et donc *setec hydratec* par son rôle d'assistant (voir Chapitre 3), à poser des questions aux candidats sur tout point qu'il est jugé nécessaire d'éclaircir, d'optimiser et/ou de mettre en conformité avec le cahier des charges. Ceci constitue l'étape d'optimisation évoquée dans l'intitulé du stage. Ce travail est rendu possible grâce au travail d'analyse et par relecture de la grille comparative préalablement construite. Un code couleur (vert/rouge) utilisé lors du remplissage de la grille a permis d'identifier rapidement les points positifs et négatifs de chaque offre.

Ce mémoire ne dédie pas de partie spécifique aux questions. Il a été jugé plus pertinent de décrire les pistes d'optimisations identifiées au fil de l'analyse des offres (Chapitre 7). Une partie des questions posées est toutefois fournie en Annexe 3, 4 et 5.

## **2.7. Etape 7 : Auditions**

Les auditions se déroulent en présence du MOA, de l'AMO et d'un jury. Au total, 10 personnes étaient présentes pour assister aux présentations des différents candidats. Le format retenu sur ce projet est de 45 minutes de présentation pour 30 minutes de questions/réponses. Cet exercice doit permettre aux candidats de mettre en avant les points forts de leur offre et d'expliquer le processus de raisonnement ayant conduit à la conception proposée. Pendant la phase de questions, les membres du jury peuvent prendre la parole pour donner leur avis sur l'offre globale et demander des précisions sur les points ayant attiré leur attention. C'est également le moment pour le Maître d'Ouvrage et son assistance technique de poser les questions ultimes et de mettre en avant les points sur lesquels l'offre peut ou doit progresser.



### **3. CONTEXTE DU PROJET**

#### **3.1. Présentation du maître d'ouvrage**

En 1960, les communes de Ville A, Ville B et Ville C s'associent en fondant le MOA.

Dans un premier temps, chaque commune conserve la gestion de son réseau d'assainissement tandis que le MOA gère le transfert intercommunal des eaux usées et leur traitement. Petit à petit, plusieurs communes se raccordent au réseau intercommunal du MOA, au point de nécessiter en 1994 la construction de l'actuelle station d'épuration de Ville A d'une capacité de 25 000 EH, répondant aux exigences de la Directive européenne Eaux Résiduaires Urbaines (DERU) de 1991 et de la Loi sur l'Eau de 1992.

En 1998, les 9 communes adhérentes délèguent la gestion de l'ensemble de leurs réseaux d'assainissement au MOA, ne conservant ainsi que la compétence eaux pluviales. Le processus se poursuit lorsque le MOA récupère la compétence assainissement non collectif (ANC) en 2001, suivi en l'espace de moins de 10 ans de l'adhésion de 6 communes avoisinantes possédant chacune une ou plusieurs stations d'épuration de petite taille. Depuis 2011, le MOA assume en régie la totalité de la compétence assainissement pour 15 communes. Les chiffres-clés du MOA sont les suivants :

- 8 stations d'épuration et 15 agents
- 194 km de collecteurs et 34 postes de relèvement
- 26 500 habitants

Les locaux administratifs et techniques du MOA sont situés sur le site de la station de Ville A. La démolition et la construction d'un nouveau bâtiment tertiaire fait partie intégrante du projet.

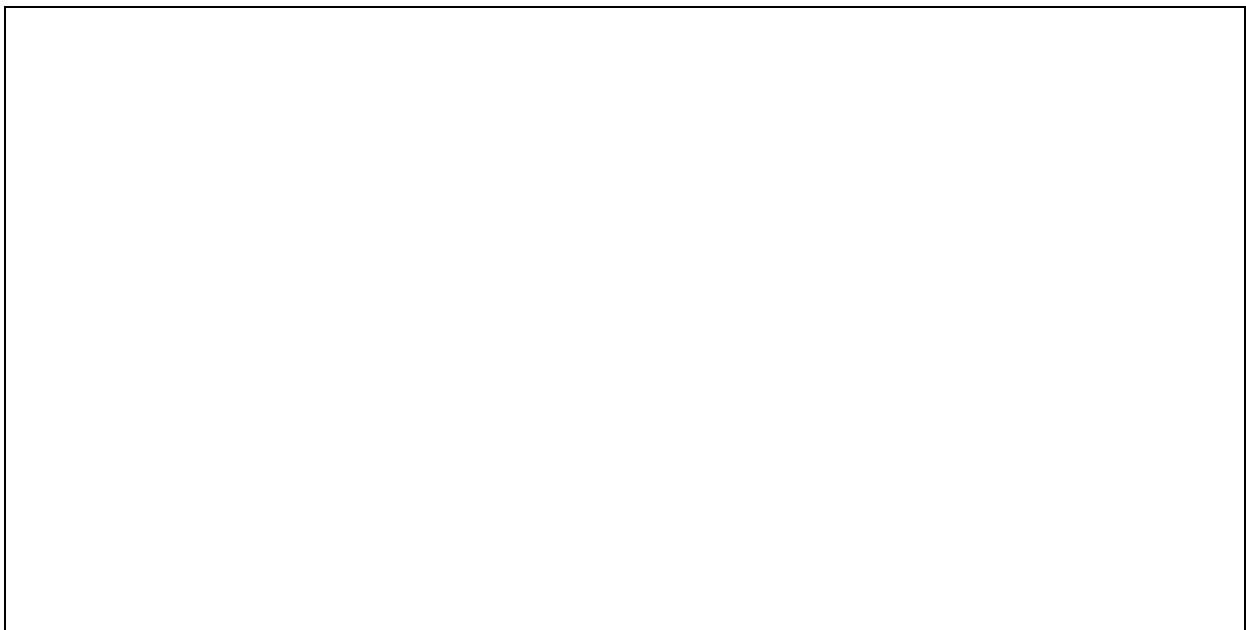


Figure 3 : Périmètre d'action du MOA

### 3.2. Rôle de setec hydratec

Dans le cadre de ce projet, *setec hydratec* possède le rôle d'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) et a pour mission :

- Phase 1 : Etablissement du dossier de consultation des entreprises ;
  - o Etudes préliminaires amont et lancement des missions connexes
  - o Montage des pièces techniques du DCE (Programme et CCTP)
  - o Montage des pièces administratives du DCE
  - o Rendu des prestations
- **Phase 2 : Dépouillement, analyse des offres et mise au point des marchés ;**
- Phase 3 : Contrôle des études des entreprises ;
- Phase 4 : Contrôle de l'exécution des travaux ;
- Phase 5 : Assistance lors des opérations de réception « Process » et durant l'année de parfait achèvement des travaux, avec contrôle des performances des nouveaux bâtiments et des bâtiments réhabilités ;
- Phase 6 : Assistance lors des opérations de réception « Bâtiment » et durant l'année de parfait achèvement des travaux, avec contrôle des performances des nouveaux bâtiments et des bâtiments réhabilités ;
- Phase 7 : Contrôle, pendant une durée d'un an de l'exploitation du nouveau dispositif épuratoire et des performances réellement atteintes ;
- Phase 8 : Contrôle, pendant une durée d'un an de l'utilisation des nouveaux bâtiments et des bâtiments réhabilités et de leurs performances.

Ce stage d'inscrit donc pleinement dans le calendrier de l'entreprise, au niveau de la phase 2.

### 3.3. Type de marché

L'incorporation du procédé de méthanisation dans la filière de traitement complexifie l'exploitation de la station de Ville A. Afin de rendre le projet plus engageant pour les candidats, le MOA et *setec hydratec* ont fait le choix d'une **procédure concurrentielle avec négociation** sous la forme d'un **marché global de performance** pour réhabiliter et moderniser la station d'épuration.

Depuis la publication de l'ordonnance n°2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics, ce type de marché se substitue aux marchés dits « **CREM** » (Conception, Réalisation, Exploitation, Maintenance) et « **REM** » (Réalisation, Exploitation, Maintenance) prévus par l'article 73 du Code des marchés Publics.

Ce nouveau format englobe ces anciens marchés « complexes » qui permettent de remplir des objectifs chiffrés de performance définis notamment en termes de niveau d'activité, de qualité de service, d'efficacité énergétique ou d'incidence écologique.

Les offres reçues pour la refonte de l'usine doivent comporter des engagements de performance mesurables. La durée du marché tient compte des délais nécessaires à la réalisation de ces objectifs et des engagements qui constituent son objet. Dans le cas de ce projet, le découpage s'effectue comme suit :

Tableau 1 : Découpage en tranches du marché

Tranche	Description	Délai maximal
1	Période d'études	12 mois
2A	Réalisation des travaux	24 mois
2B (conditionnelle)	Réalisation des travaux de la ZRV	A déterminer par les candidats
3A	Année d'exploitation	12 mois
3B	Année d'exploitation	12 mois (renouvelable 1 fois)

En comparaison avec les marchés de travaux classiques prenant fin une fois la réception de l'usine effectuée (type « Conception, Réalisation »), le marché global de performance permet de pousser chaque candidat à parfaire au maximum son travail de conception étant donné que l'exploitation de la station lui incombe pendant 2 à 3 années.

De cette manière, le MOA s'assure une conception soignée pour la future station d'épuration de Ville A et s'offre l'opportunité d'élargir son savoir-faire en bénéficiant de l'expérience d'une entreprise reconnue dans le domaine du traitement des eaux usées durant la phase d'exploitation.

### 3.4. Données géographiques et démographiques

La station est située à l'Ouest de la commune de Ville A, dans le département D, en région R. Elle occupe une surface de 1.37 hectares. La Figure 4 permet de visualiser le site et ses délimitations actuelles. Un lycée (1) est situé à proximité, ainsi qu'une déchetterie (2) et le bâtiment des services techniques communaux (3).



Figure 4: Implantation de la station

Parmi les 15 communes du MOA, 9 sont raccordées à la station, pour un total de 16 249 habitants (mars 2013). Cependant, compte tenu de la présence d'habitations d'autres communes (Ville F, Ville G, Ville H, et Ville I) sur le réseau, la population totale desservie par le réseau menant à la station est estimée à 17 871 habitants.

Tableau 2 : Population raccordée à la station

Communes raccordées à la STEP	Nombre d'habitants (mars 2013)
Ville A	6 200
Ville B	3 100
Ville C	2 813
Ville D	1 450
Ville E	1 000
Ville F	939
Ville G	925
Ville H	600
Ville I	400
Ville J	166
Ville K	140
Ville L	108
Ville M	30
<b>TOTAL</b>	<b>17 871</b>

### 3.5. Réseau d'assainissement

#### 3.5.1. Nature des effluents

Les effluents collectés sont constitués essentiellement d'eaux résiduaires urbaines. En 2011, la fermeture d'une usine spécialisée dans la production et la commercialisation de vins et spiritueux a mis fin au seul rejet industriel significatif traité par la station.

#### 3.5.2. Description générale

Le réseau de collecte alimentant la station d'épuration de Ville A se compose de :

- 100 km de réseau, dont 95% en séparatif et 5% en unitaire
- 24 postes de relevage ou de refoulement (sans dégrillage)
- 1 déversoir d'orage

Sur 24 postes, 10 sont munis de trop-pleins (dont les principaux postes en termes de débit journalier). Tous représentent un flux de pollution inférieur au seuil les soumettant aux dispositions réglementaires actuelles (120 kg DBO<sub>5</sub>/j selon l'article 17 de l'arrêté du 21 juillet 2015), à l'exception du poste de Ville A.

En ce qui concerne les déversements survenus sur le réseau, le MOA ne dispose pas de données relatives aux quantités d'effluents déversés par ces trop-pleins, mais dispose en revanche d'estimations du nombre d'heures de déversement pour chaque poste depuis l'année 2012.

Les déversements sont négligeables et sont uniquement liés à des évènements climatiques exceptionnels ou à des pannes survenues sur les postes, et dans ce cas précis, ils sont limités dans le temps.

#### 3.5.3. Fonctionnement

En temps sec, le réseau achemine une part importante d'Eaux Claires Parasites Permanentes (ECP). En 2005, près de la moitié du débit entrant sur la station d'épuration était composé d'ECP (48%).

En temps de pluie, le comportement du réseau est connu. Une étude a montré que dans le cas de la station de Ville A, il est difficile d'établir une corrélation entre l'évolution des débits entrants et la pluviométrie. Le schéma directeur d'assainissement (SDA) de 2005 a toutefois établi que la surface active totale était d'environ 14,1 ha. Au vu des efforts réalisés chaque année par le MOA pour le contrôle et la mise en conformité des branchements, cette surface a probablement diminué depuis, même si de nouvelles surfaces actives sont découvertes chaque année via ces contrôles.



Figure 5 : La Rivière

En outre, le MOA précise mener une politique dynamique de lutte contre les apports en ECP. Ainsi, le MOA a procédé, entre 2008 et 2012, au contrôle d'environ 20% des installations privées, et relevé un taux de conformité de près de 80%. Ces contrôles ont notamment conduit à la mise en conformité, en 2013, de deux erreurs importantes de branchement (dont une connexion entre le trop-plein d'un puits d'infiltration et le réseau de collecte).

### **3.6. Données environnementales**

#### **3.6.1. Milieu récepteur**

La station d'épuration rejette les effluents traités dans la Rivière. Ce cours d'eau est une rivière de X km de long qui reçoit Y affluents de petites tailles (ru, ruisseaux). La Rivière est alimentée par les ruissellements et par les nappes du tertiaire et constitue un affluent de rive droite de la Seine. Sa source est située sur la commune de Ville D (135 m NGF).

Le débit de la Rivière est relativement limité. Le poids des rejets des stations d'épuration par rapport au débit des cours d'eau est très fort : le cumul des rejets représente environ 90% du débit d'étiage du cours d'eau. La mesure du débit moyen à Ville F, soit environ 7 km en aval de la station, oscille entre 0,6 et 1,5 m<sup>3</sup>/s selon la période de l'année.

Suite à la Loi sur l'Eau de 1992, le Comité de Bassin s'est lancé dans l'élaboration du schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) de la Rivière. Cet outil de planification a été révisé et approuvé le 10 août 2015 par arrêté préfectoral.

Une étude menée en 2013 dans le cadre du renouvellement de l'autorisation de rejet de la station d'épuration a démontré que la qualité hydrobiologique de la Rivière est moyenne. Toutefois, l'impact de la station sur la dégradation du cours d'eau n'a pas pu être clairement établi et les efforts nécessaires à son amélioration semblent viser deux autres stations d'épuration.

L'objectif du SAGE est d'atteindre le bon état écologique et chimique du cours d'eau à l'horizon 2021. Le projet de réhabilitation de la station de Ville A s'inscrit pleinement dans cette phase de mise en œuvre.

### 3.6.2. Contexte géologique et hydrogéologique

La station se trouve en bordure des alluvions modernes de la Rivière, à la limite entre la base des Masses et Marnes du Gypse et la partie supérieure du Calcaire de Saint Ouen. Les sondages référencés dans la base de données du sous-sol (BSS) du BRGM placent les formations affleurantes au droit du site au niveau des Marnes et caillasses. Le site étant en zone aménagée, des remblais sont également présents dans les terrains.

D'un point de vue hydrogéologique, la cote des plus hautes eaux observée dans la zone d'étude est de 63.5 m NGF (niveau de crue exceptionnel). L'altitude de cette zone est comprise entre 60 et 70 m NGF et la nappe y est affleurante. Compte tenu des contraintes induites en phase travaux, les modes de réalisation des différents ouvrages ont fait l'objet d'une attention particulière durant l'analyse (fondations, dispositifs d'épuisement des fouilles, terrassement etc.).

Une étude géotechnique de type G1 a été menée en amont de la consultation et des études antérieures étaient également à disposition. A ce stade, les systèmes de fondations préconisés varient selon les ouvrages considérés (Tableau 3).

**Tableau 3 : Préconisations pour les fondations des ouvrages**

Ouvrage	Profondeurs d'ancrage du radier maximales envisagées	Secteur du site	
		Sud	Centre et Nord
Bassin d'orage	Côte TN à -6 m/TN	Radier renforcé avec substitution et couche de forme	Dalle portée
Digesteur	Côte TN à -2 m/TN		
Bâtiment d'exploitation	Côte TN à -0.30 m/TN	Radier renforcé	
Ouvrages annexes de petite dimension	Côte TN		

Des études géotechniques complémentaires seront menées par le Titulaire du marché afin de dimensionner précisément leurs fondations.

#### 4. PRESENTATION DE LA FILIERE ACTUELLE

La station actuelle date de 1994. Sa capacité nominale est de 25 000 EH. Son débit de référence est de 5280 m<sup>3</sup>/jour, soit 220 m<sup>3</sup>/h. Le schéma synoptique de la station est présenté dans la Figure 6 ci-dessous. Des précisions sur la filière et les principaux points d'améliorations identifiés sont fournis en Annexe 9 et 10.

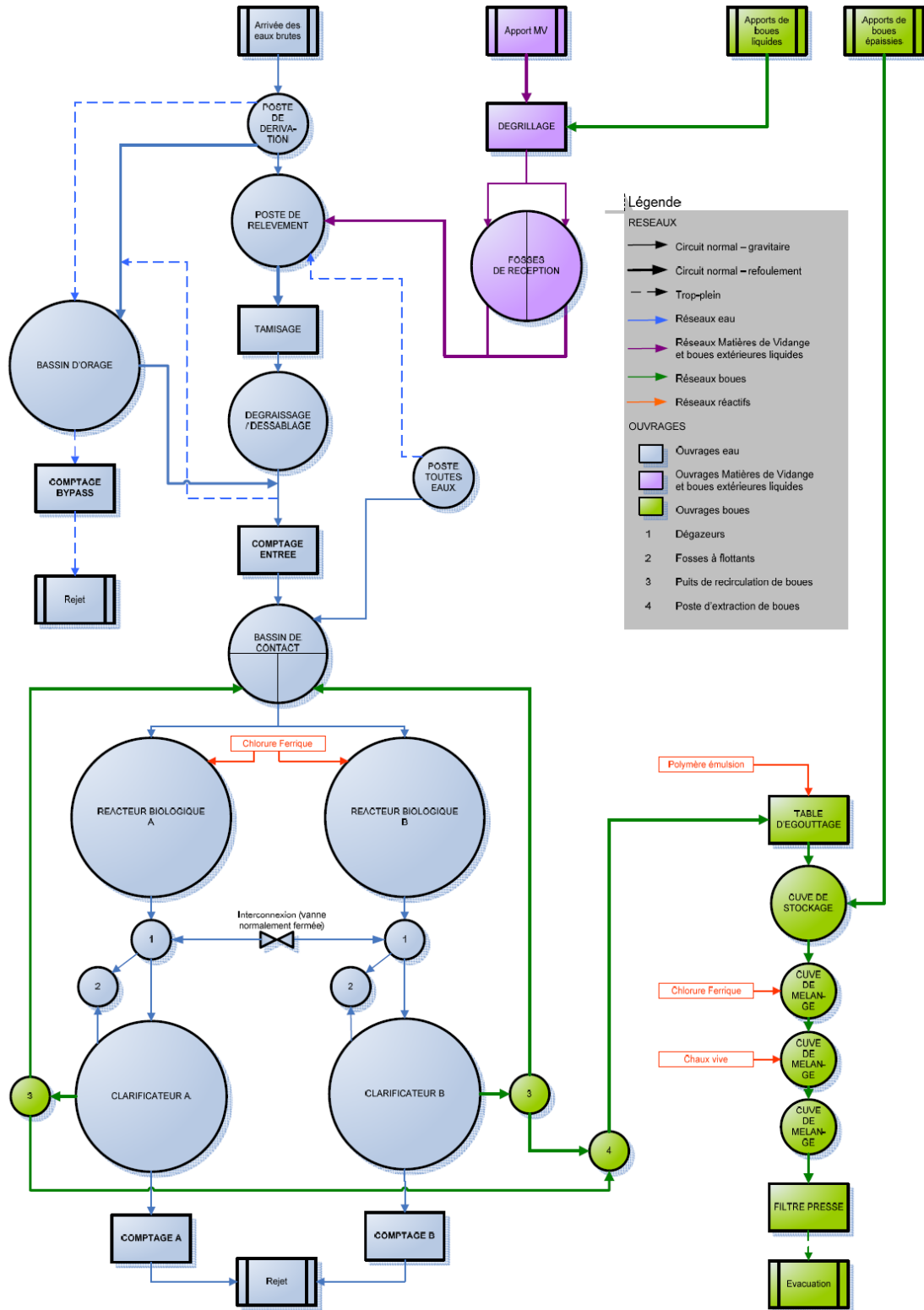


Figure 6 : Schéma synoptique de la filière existante

#### 4.1. Statut réglementaire de la station

La station est soumise aux prescriptions de l'Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'installation d'assainissement collectif. La capacité nominale actuelle de la station étant de 25 000 EH, elle doit respecter les prescriptions associées aux installations recevant 1500 kg/jour de DBO5. De plus, le classement du bassin versant de la Rivière en zone sensible à l'eutrophisation conduit à des exigences spécifiques qui sont détaillées dans un arrêté préfectoral d'autorisation de rejet en date du 21 juillet 2014. Les principales valeurs en termes de performances et d'auto-surveillance sont décrites dans les tableaux suivants.

**Tableau 4 : Valeurs de limites de rejet de la station**

Paramètre	Concentration max. <i>mg/l</i>	Valeur réhibitoire <i>mg/l</i>	Rendement min. %
MES	20	85	-
DBO5	15	50	-
DCO	50	250	-
NGL	10	-	70%
NTK	5 (moyenne annuelle)	-	-
P <sub>tot</sub>	1 (du 01/05-31/10) Sinon 1.5	-	80%
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,5 (du 01/05-31/10) Sinon 2	-	-

**Tableau 5 : Fréquences minimales d'analyses dans le cadre de l'autosurveillance**

Paramètre	Nombre d'analyses annuelles
Débit	365
MES	24
DBO5	12
DCO	24
NTK	12
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	12
NO <sub>2</sub>	12
NO <sub>3</sub>	12
P <sub>tot</sub>	12
Boues	24

#### 4.2. Débits et charges caractéristiques

L'analyse des données d'auto-surveillance de 2015 permet de déduire les valeurs suivantes pour les débits et charges arrivant actuellement sur la station.

**Tableau 6 : Débits et charges actuelles arrivant sur la station (2015)**

	Débit	Débit	MES	DCO	DBO5	NTK	PT
	<i>m<sup>3</sup>/jour</i>	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	<i>kg/jour</i>	<i>kg/jour</i>	<i>kg/jour</i>	<i>kg/jour</i>	<i>kg/jour</i>
Moyenne	2789	116	1678	2595	853	206	37
Minimum	1760	73	678	957	318	121	14
Maximum	4290	178	3746	4787	1524	331	91
Percentile 95	3805	158	3192	4516	1465	295	69



La dernière ligne du tableau montre que dans 5% des cas, donc environ 20 jours par an, la charge brute de pollution organique amenée par le réseau d'assainissement est de 1465 kg/jour (24 400 EH), soit 97% de la charge nominale de la station.

### 4.3. Apports extérieurs

#### 4.3.1. Matières de vidange

La station accueille les matières de vidange d'assainissement non collectif des communes du MOA mais aussi de communes proches. Le dépotage est effectué dans un ouvrage circulaire contenant deux fosses de réception de 25 m<sup>3</sup> avant d'être reprises en tête de la file eau, au niveau du poste de relevage. La conduite de dépotage est équipée d'un dégrilleur.

En 2016, 300 m<sup>3</sup> de matières de vidange ont été réceptionnés sur site.

#### 4.3.2. Boues externes

Des boues biologiques extérieures sont également importées de stations du MOA. Selon leur origine, la siccité de ces boues peut varier entre 2% (boues liquides) et 6% (boues épaissies). Le Tableau 7 ci-dessous liste ces différents apports :

Tableau 7 : Apports de boues extérieures sur la station

STEP	Capacité (EH)	Gisement (%)	Epaissies	Mode de prise en charge sur la station
Ville A	4000	50%	Oui	Stockage puis déshydratation
Ville B	2000	100%	Non	File eau
Ville C	1000	100%	Oui	Stockage puis déshydratation
Ville D	1000	100%	Non	File eau
Ville E	300	100%	Non	File eau
Ville F	700	100%	Non	File eau

Les boues externes épaissies sont réceptionnées dans une cuve intermédiaire de 20 m<sup>3</sup> en PEHD. Elles y sont stockées avec les boues biologiques épaissies produites sur la station puis reprises vers la déshydratation. En termes de quantité, ces boues représentent environ 10% de la production totale de boues internes à la station.

A défaut de pouvoir les traiter spécifiquement, les boues externes liquides sont aujourd'hui injectées dans la file eau. L'impact de ces apports extérieurs (boues et matières de vidange) sur les performances de la station a été analysé par un bureau d'études préalablement au lancement du marché entre le MOA et *setec hydratec*. Aucun lien avec d'éventuelles dégradations du fonctionnement de la filière de traitement n'a pu être clairement établi à ce jour. Toutefois, ce mode de gestion non conventionnel des boues et leur augmentation future sont des facteurs ayant contribué à considérer la mise en place d'une digestion anaérobie sur le site.

## **5. ELEMENTS DE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA METHANISATION**

Avant d'aborder l'analyse, un travail de recherche documentaire (état de l'art) fut nécessaire. L'objectif de cette partie est de décrire le mode opératoire adopté pour cette étude bibliographique et de présenter les thèmes sur lesquels ont porté les recherches, en précisant les enjeux liés au projet de réhabilitation de la station d'épuration de Ville A.

### **5.1. Méthodologie de recherche documentaire**

La méthanisation est un procédé complexe particulièrement bien documenté, qui s'étend bien au-delà des stations d'épuration. Le premier objectif a donc constitué à définir les limites du sujet de recherche.

Etant donné le temps imparti, il est apparu peu pertinent d'étudier en détail les différentes étapes de la digestion anaérobie (hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse, méthanogénèse), dont le fonctionnement est aujourd'hui relativement bien connu. Les thématiques suivantes ont été identifiées comme déterminantes dans la compréhension de la problématique du stage :

- Réglementation française
- Procédés de production de biogaz en voie liquide
- Epuration du biogaz en vue d'une injection réseau
- Filières de valorisation possibles du biogaz produit
- Coûts d'investissement et d'exploitation pour une STEP de taille moyenne

Une fois le sujet restreint, un travail d'identification des acteurs majeurs dans le domaine a été effectué afin de disposer de sources de qualité. Les auteurs ayant fait l'objet d'une attention particulière sont :

- *Club Biogaz* : crée au sein de l'Association Technique Energie Environnement (ATEE) en 1999, ce club rassemble les principaux acteurs français concernés par le biogaz et la méthanisation (bureaux d'études, constructeurs, industriels, distributeurs, institutions financières, avocats spécialisés, etc.) ;
- *Association de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (ADEME) ;
- *Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques* (INERIS)
- Agences de l'Eau ;
- *GRdF – GRTGaz* ;
- *Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture* (IRSTEA)
- *Solagro* : bureau d'études spécialisé dans le domaine des bioénergies ;

Deux ouvrages spécialisés étaient également à disposition :

- *La méthanisation*, 2<sup>ème</sup> édition, René Moletta, 2011
- *Mémento technique de l'eau*, Suez, 2005

## 5.2. Aspects réglementaires généraux

Depuis 2014, l'injection de biométhane produit à partir de boues de stations d'épuration urbaine est désormais possible dans le réseau de gaz naturel. Les textes publiés au Journal Officiel du 26 juin 2014 modifient la cadre réglementaire de 2011 encadrant les modalités d'injection.

Le régime d'autorisation auquel est soumise la station dépend de sa typologie. Bien qu'une unité de méthanisation soit encadrée par les ICPE, une station traitant exclusivement des boues et autres sous-produits internes issus du traitement des eaux usées est réglementée par le régime d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau.



En autorisant l'intégration de co-intrants ou boues extérieurs pour améliorer la production de biogaz, la station relève de la nomenclature ICPE, rubrique 2781-2 et est soumise à autorisation. En ce sens, elle doit se conformer aux règles techniques fixées par l'arrêté du 10 novembre 2009. Les points majeurs entrant en considération sont :

- Respect de distances minimales en termes d'implantation
- Dispositif de rétention sur le digesteur (cuve ou dispositif de drainage)
- Enregistrement des matières externes (pont bascule)
- Etude d'impact et de dangers
- Prévention des risques d'explosion

## 5.3. Principes techniques de production de biogaz

D'une manière générale, le procédé de méthanisation peut être mis en œuvre en voie sèche (15-40% de matière sèche) ou en voie humide (<15%). Dans le cas de boues de station, on pourra parler de digestion en voie liquide étant donné les siccités mises en jeu (<10%). A long terme, le MOA souhaite pouvoir faire évoluer l'installation d'un régime mésophile (35-40°C) à thermophile (50-55°C) afin de pouvoir traiter un maximum de matières brutes (co-intrants extérieurs compris).



Figure 7 : Deux digesteurs et un gazomètre

Afin d'améliorer le rendement du procédé, des prétraitements peuvent être mis en œuvre sur les intrants. Leur fonction principale est de « casser » la matière organique pour améliorer sa biodégradabilité. Cette effet peut être obtenu par hydrolyse thermique, par application d'ultrasons ou encore par variation brutale de pression (détente « flash »). Les cellules réfractaires sont lysées et libèrent leur contenu cellulaire tandis que les longues chaînes carbonées difficilement assimilables sont transformées en chaîne de plus petite taille. Ces technologies n'ont finalement pas été mises en œuvre par les candidats, très probablement pour des raisons de faisabilité économique.

Le fonctionnement des digesteurs reste relativement similaire sur les installations en voie liquide. Généralement, le mode d'alimentation en continu avec recirculation est privilégié. Les dispositifs discontinus (« batchs ») ou semi-continus étant réservés aux voies plus sèches.

L'ensemble de ces aspects a été étudié pendant la phase de recherche documentaire, de même que les hypothèses, paramètres et méthodes de dimensionnement des digesteurs (nature des intrants, potentiels méthanogènes, rendement de conversion de la matière organique en biogaz, temps de séjour, charge organique etc.). Les dispositifs de chauffage, de brassage et de suivi du digesteur ont également été approfondis.

#### **5.4. Filières de valorisation possibles du biométhane**

Plusieurs modes de valorisations du biogaz existent. Les principaux sont listés ci-dessous :

- Chaudières à combustion directe (production d'énergie calorifique)
- Moteur à cogénération (production d'énergie électrique et calorifique)
- Turbines à gaz (production d'énergie mécanique)
- Injection dans le réseau de gaz naturel



Figure 8 : Chaudière biogaz, unité de cogénération, poste d'injection réseau

De par l'absence de besoins en énergie thermique ou mécanique, sur site ou à proximité immédiate, les chaudières et turbines à gaz ont été peu étudiées. La génération d'une recette d'exploitation est l'option la plus avantageuse pour le MOA. En ce sens, l'injection et la production d'électricité ont fait l'objet d'une plus grande attention.

#### **5.5. Techniques de traitement du biogaz**

Le mode de valorisation du biogaz produit sur la station n'est pas imposé par le MOA. Toutefois, les perspectives d'évolution des coûts d'exploitation à moyen et long terme ainsi que le manque de débouché d'une éventuelle production de chaleur tendent à privilégier implicitement l'injection dans le réseau de gaz naturel par rapport à la cogénération.

Le biogaz produit par la digestion anaérobie est saturé en eau (humidité relative de 100%) et constitue un mélange de méthane (~55-75%) et de dioxyde de carbone (~25-45%) dans des proportions pouvant varier selon les intrants et le procédé retenu. Des impuretés (~5%) sont également présentes, pouvant potentiellement poser des problèmes de corrosion et de dépôts au niveau des équipements et des canalisations : sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), ammoniac (NH<sub>3</sub>), composés organo-halogénés (AOx), métaux lourds, siloxanes.

Pour être déclaré conforme aux exigences des distributeurs de gaz, le biogaz doit être épuré afin d'isoler le méthane des autres composés. Cette étape permet d'augmenter son pouvoir calorifique, de protéger le réseau de distribution et de protéger la santé des utilisateurs.

Le travail de recherche bibliographique a porté sur les différentes technologies permettant d'atteindre cet objectif. On retiendra notamment les trois principales étapes :

- Séchage ( $H_2O$ ): réfrigération, lavage au glycol, adsorption sur dessiccants ;
- Prétraitement ( $H_2S$ ) : précipitation chimique, traitement biologique, lavage à la soude, adsorption sur oxydes métalliques ou charbons actifs ;
- Epuration ( $CO_2$ ) : absorption liquide (eau, solvants organiques), adsorption solide par différentiel de pression (PSA), filtration membranaire, cryogénie.

### **5.6. Impact de la digestion sur les performances d'une station d'épuration**

Les caractéristiques physico-chimiques des digestats sont différentes des boues secondaires classiques. Les processus mis en jeu pendant l'étape de méthanisation modifient profondément la composition du mélange entrant en digestion. Ceci impacte directement le fonctionnement de la file boues et augmente les risques de dysfonctionnement biologiques liés aux flux de retours en tête issus de l'étape de déshydratation, chargés en azote et en phosphore.

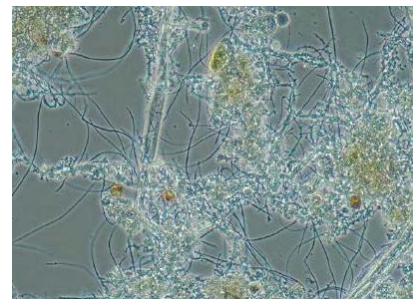


Figure 9 : Bactéries filamenteuses

Dans le cadre de la réhabilitation de la station de Ville A, la prise en compte de cette problématique par les candidats constitue un élément important de l'analyse des offres. Cet aspect fut étudié à partir d'un document publié par l'IRSTEA (pour le compte de l'ADEME) analysant l'impact des unités de méthanisation sur les performances épuratoires des stations de traitement des eaux usées.

### **5.7. Coûts d'investissement et rentabilité économique**

La rentabilité de la digestion anaérobie est avérée et largement documentée pour des stations d'épuration de grande taille (100 000 EH et plus). Les récentes évolutions de la réglementation ont provoqué une augmentation de la demande de la part des collectivités de taille inférieure, ce qui a conduit les fournisseurs à élargir leur champ d'action en proposant des gammes de produits adaptées à des débits de biogaz inférieurs à  $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

En faisant le choix d'incorporer une étape de méthanisation sur le site de Ville A, le MOA compte améliorer le bilan énergétique global de la station mais également le fonctionnement de sa file boues. En effet, si l'objectif premier d'une unité de méthanisation semble être de produire du biogaz, celle-ci permet également de réduire considérablement les volumes de boues à gérer en fin de filière de traitement (de l'ordre de 25 à 40% de réduction). Ainsi, compte tenu de la capacité limitée de la station (42 000 EH), les économies réalisées par la réduction de ces volumes font partie intégrante de la rentabilité du projet. Une attention particulière a été portée sur le volet économique (retour sur investissement) pendant l'étude bibliographique.

## 6. PREDIMENSIONNEMENT DE LA STATION

Dans le cadre de ce projet de réhabilitation, l'objectif est d'augmenter la capacité de la station tout en conservant les ouvrages en place pour le traitement secondaire, moyennant la mise en place d'une étape de traitement primaire.

Cette phase de dimensionnement préliminaire à la réception des offres a permis d'effectuer un travail de vérification des hypothèses de dimensionnement nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés par le MOA. Un regard critique a été porté le degré de fiabilité de ces hypothèses. Il a été nécessaire d'évaluer, entre autres :

- Les débits et charges futures
- La production de boues futures
- Les paramètres de fonctionnement atteignables pour le traitement biologique
- La production de biogaz

La note de calcul complète est fournie en Annexe 12.

### 6.1. Estimation des débits et charges futures

Les données de dimensionnement étaient renseignées dans le DCE, donc déjà disponibles au début du stage. Toutefois, il a semblé utile de refaire ces calculs afin de s'appropriier le sujet et de comprendre l'origine des hypothèses de base fournies aux candidats.

#### 6.1.1. Débits entrants

La capacité hydraulique de la station est de 5280 m<sup>3</sup>/jour (220 m<sup>3</sup>/h). Cette capacité ne change pas car l'ensemble des ouvrages du traitement secondaire sont conservés. Les prévisions d'évolution de la population à l'horizon 2030 sont détaillées dans le tableau suivant :

**Tableau 8 : Données de projection de population du MOA**

	2015	2022	2030	2045
Habitants raccordés	16403	22600	28064	42121
Taux de croissance par rapport à 2015		38%	71%	157%

A l'horizon 2030, 11 661 personnes supplémentaires seront raccordées au réseau d'amenée de la station. Sur 15 ans, cette hypothèse équivaut à un taux d'accroissement annuel de l'ordre de 3.7%. Deux méthodes sont possibles pour estimer le débit futur à partir de cette donnée : (1) en considérant 150 litres par jour par habitant ou (2) en appliquant directement le taux d'accroissement sur le percentile 95 des débits entrants :

**Tableau 9 : Détermination du débit à l'horizon 2030**

Charge hydraulique journalière				
	2015*	2030 (1)	2030 (2)	2030 (moy)
Min	1650	3399	2823	3111
Moyenne	3061	4811	5238	5024
Percentile 95	4313	6062	7379	<b>6721</b>
Max	6269	8018	10726	9372

\* en m<sup>3</sup>/jour, issu des données d'autosurveillance 2014/2015 de la station

En prenant en compte le débit capable de la station évoqué précédemment, le volume de stockage nécessaire pour stocker l'excédent a pu être calculé.

**Tableau 10 : Détermination du volume du bassin d'orage**

Volume de bassin nécessaire**			
Percentile 95	782	2099	<b>1441</b>

\*\* pour stocker le surplus du percentile 95 à l'horizon 2030

La méthode 1 (hypothèse habitant) est minorante tandis que la méthode 2 (taux d'accroissement) est majorante. Le volume de bassin pouvant être retenu est un volume intermédiaire. En considérant la valeur moyenne des deux méthodes, le débit journalier en régime de pointe est de 6721 m<sup>3</sup>/jour, soit un excédent à stocker de 1441 m<sup>3</sup>/jour. Ce volume a été arrondi à 1500 m<sup>3</sup> et constitue le volume de dimensionnement du bassin d'orage indiqué dans le DCE.

### 6.1.2. Charges entrantes

Les valeurs de charge fournies aux candidats ont été calculées similairement au débit, en travaillant sur les percentiles 95 des données d'autosurveillance de 2015 auxquelles a été appliqué le taux d'accroissement de 3.7% :

**Tableau 11 : Détermination des charges futures à l'horizon 2030**

			Données 2015	Projection 2030
DBO5	Charge moyenne	kg/j	853	1459
		EH	<b>14217</b>	<b>24323</b>
	Charge percentile 95	kg/j	1465	<b>2506</b>
		EH	<b>24417</b>	<b>41775</b>
DCO	Charge moyenne	kg/j	2595	4440
		EH	21625	36998
	Charge percentile 95	kg/j	4513	<b>7761</b>
		EH	<b>37608</b>	<b>64344</b>
MES	Charge moyenne	kg/j	1678	2871
		EH	20975	35886
	Charge percentile 95	kg/j	3192	<b>5461</b>
		EH	<b>39900</b>	<b>68265</b>
NTK	Charge moyenne	kg/j	206	352
		EH	13733	23496
	Charge percentile 95	kg/j	295	<b>505</b>
		EH	<b>19667</b>	<b>33648</b>
PT	Charge moyenne	kg/j	37	63
		EH	18500	31652
	Charge percentile 95	kg/j	69	<b>118</b>
		EH	<b>34500</b>	<b>59026</b>

Moyennant un arrondissement sur la DBO5 à 42 000 EH et une requête du MOA sur le paramètre phosphore, les valeurs obtenues sont indiquées dans le Tableau 12 suivant :

**Tableau 12 : Charges nominales de la station réhabilitée**

	DBO5	DCO	MES	NTK	PT
Charge nominale (kg/jour)	2520	7761	5461	505	168

Ces données sont très contraignantes pour le dimensionnement de la future station. Nous verrons dans l'analyse comparative (Chapitre 7) que certains candidats ont fait le choix de

revoir ces hypothèses à la baisse tout en garantissant d'atteindre les concentrations maximales fixées dans l'arrêté de rejet.

### 6.1.3. Retours en tête

Ces flux constituent une des problématiques centrale du projet au regard de la capacité de traitement de l'azote. Le travail de recherche bibliographique a permis de constater que ces quantités sont communément évaluées en pourcentage des charges entrantes sur la station. Les données sont fournies dans le Tableau 13 ci-dessous.

**Tableau 13 : Pourcentage de retours en tête issu d'une déshydratation de digestats**

	Lawler, 2004	Couturier et al., 2001			Fux, 2004
		Valeur basse	Moyenne	Valeur haute	
Débit	1%	6%	8%	10%	0.83%
DBO5	nc	5%	18%	30%	4.5%
DCO	nc	nc	nc	nc	nc
MES	nc	2%	10%	17%	51.2%
NTK	15-20%	15%	20%	25%	23.2%
PT	nc	1%	6%	10%	21.9%

On remarque que les valeurs indiquées varient de manière notable d'une publication à l'autre. Afin d'être sécuritaire, les valeurs considérées dans la note de calcul sont les valeurs moyenne de Couturier et al. Le pourcentage en DCO n'étant pas indiqué, il a été arbitrairement fixé égal à celui de la DBO5 par sécurité. Les calculs de dimensionnement étant basés sur les paramètres DBO5, MES, NTK et P, cette hypothèse n'aura pas d'impact sur les résultats obtenus.

**Tableau 14 : Estimation des flux de retours en tête**

Débit	DBO5	DCO	MES	NTK	PT
m <sup>3</sup> /jour	kg/jour	kg/jour	kg/jour	kg/jour	kg/jour
422	453	1397	546	101	10

Pour comparaison, la note de calcul fournit également une estimation du débit de retours en tête issu des étapes d'épaississement et de déshydratation. En fixant le taux de capture de MES à 95% sur les deux étapes, ce débit est estimé à 564 m<sup>3</sup>/jour à 100% de la charge nominale (dont 78 m<sup>3</sup>/jour pour la déshydratation).

Une deuxième méthode d'estimation des flux devait être testée à partir de ce second débit, en y appliquant des concentrations caractéristiques de retours en tête. Cependant, n'étant pas parvenu à obtenir des données issues de sources sûres sur la caractérisation des centrats de déshydratation de boues digérées, il a finalement été choisi de considérer la première méthode.

Le travail de documentation conduit à porter un regard critique sur cette approche, qui reste théorique. Celle-ci revient à appréhender les retours en tête uniquement comme une charge supplémentaire à prendre en compte dans le dimensionnement du traitement biologique. Cette hypothèse revient donc à considérer que les risques générés par les flux de retours en tête sur le bon fonctionnement de la station sont exclusivement liés aux caractéristiques chimiques de ces effluents. Une publication de l'ONEMA datant de 2013 au sujet de l'impact de la digestion anaérobie sur les performances épuratoires des STEP évoque, en plus de la charge, le caractère septique des retours en tête. Bien que cet aspect ne puisse être pris en



compte dans la note de calcul, il semble constituer un facteur de risque réel qu'il est difficile de mesurer. Avec ou sans digesteur, un des dysfonctionnements biologiques les plus courant sur les STEP est l'apparition de phénomènes de moussages liés au développement de bactéries filamenteuses. Il est aujourd'hui admis que l'origine de ces phénomènes soit liée aux retours en tête d'étapes d'épaississement pour lesquels les boues auraient séjourné trop longtemps en stockage et ainsi évolué vers des conditions anaérobies. Dans le cas de la station de Ville A, les risques inhérents à la présence de micro-organismes issus de l'étape de digestion anaérobie dans les retours en tête sont à prendre en compte. Sur ce point, nous verrons dans le Chapitre 7 que les systèmes de traitements retenus par les candidats peuvent permettre de réduire ces risques par le biais de l'aération.

## 6.2. Dimensionnement des ouvrages

L'objectif de cette partie n'est pas de présenter l'ensemble des calculs effectués mais d'expliquer la méthode retenue et d'en présenter les principaux résultats. Les points qui feront l'objet d'une attention particulière sont les suivants :

- Rendement de la décantation primaire
- Production de boues (primaires, biologiques, physico-chimiques)
- Age de boues et charge massique
- Nitrification/dénitrification
- Production de biométhane

Les calculs ont été effectués pour 20%, 50%, 75% et 100% de la charge nominale future afin de mettre en évidence les taux de charge à partir desquels la station risque d'entrer en limite de fonctionnement. Les résultats présentés dans le mémoire sont valables pour 100% de la charge nominale. Pour plus de détails, la note de calcul de pré-dimensionnement est fournie en Annexe 12.

### 6.2.1. Décantation primaire

La décantation primaire joue un rôle essentiel dans l'extension de capacité de la station. Elle doit être suffisamment efficace pour abattre une portion significative de la pollution entrante et ainsi limiter la quantité de substrat entrant dans le bassin biologique.

La technique la plus couramment utilisée est la décantation lamellaire. Sur ce type d'ouvrage, la littérature fournit principalement les taux d'abattelements atteints avec ajouts d'agents coagulants et floculants. L'utilisation de telles valeurs conduirait à une surestimation des rendements réellement obtenus sans ajout de réactifs, ce qui est généralement le cas d'un traitement primaire. Afin d'avoir une approche conservatrice, les performances retenues correspondent à la fraction décantable des eaux résiduaires urbaines françaises :

Tableau 15 : Rendement du traitement primaire

Paramètre	Abattement*
DBO5	30%
DCE	40%
MES	60%
NTK	10%
PT	15%

\* Memento Suez, 2005

La production de boues primaires correspond au taux de MES abattues, soit environ 3600 kg MS/jour en prenant en compte les retours en tête (sécuritaire) et 3277 kg MS/jour dans le cas contraire.

### 6.2.2. Production de boues secondaires

Trois formules de calcul ont été utilisées pour estimer la production de boues biologiques. Les résultats obtenus pour chacune de ces formules sont les suivants (en kg MS/jour) :

**Tableau 16 : Productions de boues secondaires**

<b>Formule</b>	<b>Avec retours en tête</b>	<b>Sans retours en tête</b>
Taux de production	1665	1411
Duchesne	1883	1658
Sadowski*	2535	2215
<b>Moyenne</b>	<b>2028</b>	<b>1762</b>

\* Méthode de calcul d'une filière de traitement, Mars 2002

La moyenne des résultats a été retenue. La production de boues physico-chimiques a été évaluée à 712 kg MS/jour en considérant un rendement de la déphosphatation biologique de 30%. Nous verrons plus loin que le scénario retenu pour la suite est celui sans retours en tête (considérés comme traités spécifiquement), étant donné le volume des ouvrages existants et les temps d'aération et d'anoxie nécessaire pour le traitement de l'azote.

### 6.2.3. Age de boues et charge massique

La vérification du dimensionnement des bassins a été effectuée à partir de la production de boues biologiques. En considérant une concentration en MES de 4,5 g/l et un volume des bassins de 5205 m<sup>3</sup> (hors zones anaérobies) l'âge de boues de la station à charge nominale est de 10 jours et la charge massique associée de 0.102 kg DBO5/kgMVS/jour.

Théoriquement, l'âge de boues est suffisant car le minimum pour assurer le développement de la biomasse hétérotrophe nécessaire au processus de dénitrification est de 8 jours. Cependant, les retours d'expérience sur les stations d'épuration à boues activées à faibles charges montrent que le traitement de la pollution organique est efficace en fonctionnant avec des âges de boues de l'ordre de 15 à 25 jours.

En première approche, cette valeur d'âge de boues est donc apparue comme peu sécurisante et a conduit à se poser la question de la faisabilité d'une reprise de l'existant. Ceci constitue une erreur d'interprétation sur le sens réel des charges à prendre en compte. Il peut apparaître naturel de considérer que la station devrait présenter des paramètres de fonctionnement optimaux pour les charges indiquées dans le DCE. En pratique, une telle approche peut conduire à surdimensionner les installations. Cette notion contre-intuitive se justifie par la définition statistique de la capacité nominale.

En effet, nous avons vu que les valeurs fournies aux candidats représentent les percentiles 95 des charges actuelles auxquels a été appliqué le taux d'accroissement de la population

sur 30 ans. Les charges définies dans le DCE correspondent à un scénario de jour maximal et celui-ci devrait se produire, statistiquement, moins de 20 jours par an à l'horizon 2030 (5% de 365 jours).

Les charges fournies constituent donc un état limite de fonctionnement de la station en 2030 et celle-ci n'a pas vocation à traiter ce type de charge en moyenne. L'atteinte de paramètres de fonctionnement « limites » n'est donc pas un problème au regard de la fréquence future de l'évènement et de l'inertie des systèmes de traitement par boues activées à faible charge.

#### 6.2.4. Cinétiques de nitrification/dénitrification

La croissance des organismes autotrophes étant plus lente que celle des hétérotrophes, l'azote est le facteur limitant dans le processus de traitement de la pollution organique. Une vérification supplémentaire a été donc effectuée afin de s'assurer que les processus de nitrification et de dénitrification puissent avoir lieu sur une période de 24h, compte tenu des cinétiques retenues et du temps nécessaire pour passer en anoxie stricte lors du syncopage de l'aération. Les résultats montrent que sans un traitement spécifique des flux de retours en tête, les volumes de bassins existants commenceront à atteindre leur limite de fonctionnement dès 75% de charge (Tableau 17) :

**Tableau 17 : Vérification des durées de syncopage (heures/jour)**

	20%	50%	75%	100%
Temps d'aération nécessaire à la nitrification	3.8	9.5	14.2	19.0
Temps nécessaire d'anoxie stricte dans le bassin	0.1	5.7	10.5	15.2
Temps nécessaire au passage en anoxie stricte *	1.5	1.5	1.5	1.5
Temps d'aération disponible	22.4	16.8	12.0	7.3
Validation des temps	Validé	Validé	Non validé	Non validé

\* 6 cycles aération/anoxie

Ces résultats sont obtenus pour une concentration dans les bassins fixée à 4.5 g/l. En augmentant cette valeur à 5 g/l puis à 5.5 g/l, les temps sont suffisants à 75% puis 100% de charge. Toutefois, nous verrons dans la partie sur l'analyse des offres qu'une concentration trop élevée dans le bassin n'est pas souhaitable car entraîne des problèmes de surconsommations énergétiques liées à l'augmentation de l'aération. L'augmentation de la concentration devra donc se faire progressivement, en fonction des évolutions de charge à moyen et long terme.

#### 6.2.5. Calage hydraulique

Les candidats doivent prévoir un système de traitement tertiaire dans leurs offres afin de respecter les normes de rejets préconisés dans l'arrêté cité précédemment. La cote des plus hautes eaux à prendre en considération est de 63.50 m NGF et la cote du niveau d'eau dans la goulotte de sortie des clarificateurs existants est de 64.10 m NGF.

L'incorporation d'une étape de traitement tertiaire entre les clarificateurs et le point de rejet peut donc poser problème du point de vue du calage hydraulique. Idéalement, le rejet dans la Rivière doit pouvoir s'effectuer de manière gravitaire même en cas de plus hautes eaux.

La lecture des plans masse de la station fournis par le MOA permet d'estimer la distance entre la sortie des clarificateurs et le point de rejet existant. En considérant un débit maximal

de 220 m<sup>3</sup>/h et une vitesse d'écoulement de 1.5 m/s, le diamètre de la canalisation de rejet devra être de 250 mm. Deux sources de perte de charge ont été considérées dans le calcul (voir Annexe 11) :

- Singulières : entrées, sorties, coudes à 90°, venturi
- Linéaires : 20 mètres de conduites en fonte

La Figure 10 ci-dessous représente le profil hydraulique et les hypothèses utilisées.

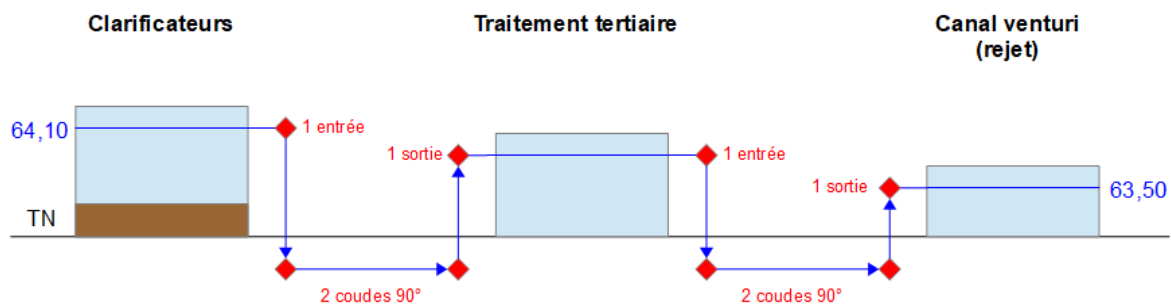


Figure 10 : Profil hydraulique pour le traitement tertiaire

Le résultat obtenu montre que la « hauteur » cumulée des pertes de charge s'élève à 74 cm en prenant des hypothèses sécuritaires ( $K=1$  mm) alors que la hauteur disponible est de 60 cm. L'intercalation d'un traitement tertiaire de type filtration semble donc impossible sans la mise en place d'un poste de relèvement des eaux traitées.

### 6.3. Digester et production de biométhane

Les hypothèses de dimensionnement utilisées pour avoir un ordre de grandeur du potentiel de production de biométhane sur la station de Ville A sont majoritairement extraites de l'ouvrage *La Méthanisation* de René Moletta (2011).

Afin d'avoir un mélange homogène avant d'injecter les boues en digestion, une fosse d'homogénéisation devrait être prévue. Le Tableau 18 récapitule les apports de boues considérés pour le dimensionnement du digesteur (en kg MS/jour).

Tableau 18 : Production de boues mixtes épaissies

	20%	50%	75%	100%
Production de boues primaires épaissies*	623	1556	2335	3113
Production de boues secondaires épaissies*	462	1155	1733	2310
Production de graisses	19	47	71	95
Apport de boues externes	548	548	548	548
<b>Total production de boues mixtes épaissies</b>	<b>1651</b>	<b>3307</b>	<b>4686</b>	<b>6065</b>
Concentration boues mixtes épaissies (g/l)	60	60	60	60
Volume boues mixtes épaissies (m <sup>3</sup> /jour)	28	55	78	101
Taux de matières volatiles boues mixtes (Moletta)	70%	70%	70%	70%

\* en considérant un taux de capture de 95% sur les étapes d'épaississement

Conformément au DCE, le régime de fonctionnement mésophile est considéré jusqu'à 50% de la charge nominale, puis une évolution en régime thermophile est prévue au-delà. Ceci

permet de réduire le volume de réacteur nécessaire à l'approche de la charge nominale. Les principales grandeurs caractéristiques de ces différents modes de fonctionnement sont détaillées ci-dessous (Tableau 19) :

**Tableau 19 : Paramètres de fonctionnement d'un digesteur anaérobie**

	Régime mésophile	Régime thermophile
Température	37°C	55°C
Temps de séjour min. (jours)	16 - 25	8 - 12
Charge organique max. (kgMVS/m <sup>3</sup> /jour)	1.5 – 2.5	2.5 - 5

Afin d'avoir une approche sécuritaire, les paramètres les plus contraignants ont été retenus dans la note de calcul (temps de séjour maximal et charge organique minimale).

**Tableau 20 : Pré-dimensionnement du digesteur**

	20%	50%	75%	100%
Température digesteur	37	37	55	55
Temps de séjour	25	25	12	12
Charge organique	1,5	1,5	2,5	2,5
Volume nécessaire pour temps de séjour	688	1378	937	1213
Volume nécessaire pour charge organique	771	1543	1312	1698
<b>Volume retenu</b>	<b>1 698</b>	<b>1 698</b>	<b>1 698</b>	<b>1698</b>

Le calcul montre que le paramètre le plus contraignant pour le dimensionnement du digesteur est la charge organique. Le volume de l'ouvrage devrait être de l'ordre de 1700 m<sup>3</sup>. Il est intéressant de noter que le résultat obtenu à 50% de charge est très proche de cette valeur. Le dimensionnement ne peut donc être uniquement effectué en considérant la charge nominale étant donné qu'un changement de régime est observé entre la mise en route et la situation future. En considérant une charge organique plus élevée en régime thermophile (4 kgMVS/m<sup>3</sup>/jour par exemple), le volume nécessaire à 50% de charge devient supérieur à celui obtenu à charge nominale. Les candidats devront donc vérifier que le dimensionnement retenu à 100% de charge est bien compatible avec un fonctionnement en régime mésophile à charge moins élevée.

**Tableau 21 : Estimation de la production de biométhane**

	20%	50%	75%	100%
Rendement d'élimination des MVS	40%	40%	40%	40%
Rendement (Nm <sup>3</sup> biogaz/kg MVS éliminé)	0,9	0,9	0,9	0,9
Proportion de méthane dans le biogaz (%CH <sub>4</sub> )	65%	65%	65%	65%
MVS éliminées (kg MVS/h)	19	39	55	71
Débit de biogaz (Nm <sup>3</sup> biogaz/h)	17	35	49	64
<b>Débit de méthane (Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/h)</b>	<b>11</b>	<b>23</b>	<b>32</b>	<b>41</b>

En considérant un rendement d'élimination des matières volatiles de 40% et un rendement de production de biogaz de 0.9 Nm<sup>3</sup> biogaz/kgMVS éliminé (hypothèses sécuritaires), le débit de production de biométhane de la station devrait atteindre au moins 40 Nm<sup>3</sup>/h à son fonctionnement maximum. A la mise en route de la station, soit environ 30% de la charge nominale, ce débit ne serait que de l'ordre de 10 à 15 Nm<sup>3</sup>/h.

## 6.4. Bilan énergétique

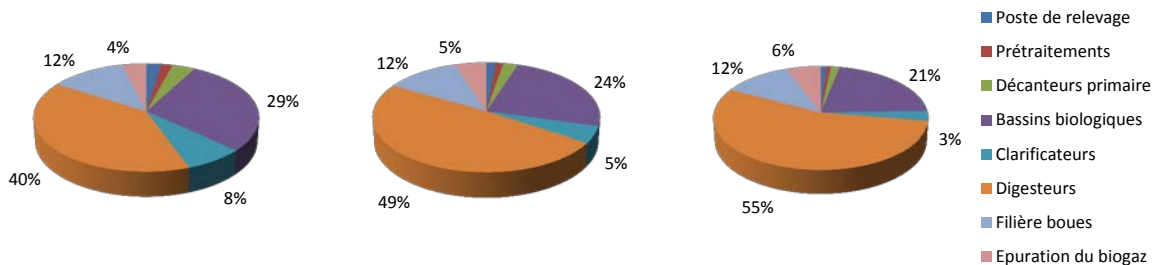
Une estimation du bilan énergétique global de la station a été réalisée en prenant en compte les consommations énergétiques des principaux équipements. Le détail des hypothèses utilisées est indiqué dans à la fin de la note de calcul fournie en Annexe 12.

Dans le cas d'une valorisation par injection réseau, un dispositif d'épuration du biogaz est nécessaire afin d'atteindre le niveau de pureté requis par les distributeurs. Actuellement, le mode de traitement le plus répandu est la filtration membranaire. Ce procédé est nécessaire de porter le biogaz à des pressions élevées (8-14 bars). Le travail de recherche bibliographique a permis d'avoir un ordre de grandeur des consommations énergétiques mises en jeu. Le tableau suivant fournit une estimation de cette valeur (Aile Asso, 2012).

**Tableau 22 : Consommation énergétique d'une unité d'épuration membranaire du biogaz**

	Valeur basse	Valeur haute
kWh/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	0,25	0,43
<b>20% de charge (MWh/an)</b>	25	42
<b>50% de charge (MWh/an)</b>	49	85
<b>100% de charge (MWh/an)</b>	<b>91</b>	<b>156</b>

Au regard des autres consommations, ce poste ne devrait donc pas trop impacter le bilan énergétique global (Figure 11). Ce bilan a été estimé à partir des consommations des principaux équipements de la filière. Le détail des calculs et des hypothèses utilisées est fourni en fin d'Annexe 12.



**Figure 11: Parts des différentes étapes dans la consommation énergétique globale**

Les calculs montrent que les étapes de la filière les plus énergivores sont la digestion, le traitement biologique (aération principalement), la filière boues (déshydratation) et dans une moindre mesure le poste de relèvement. A mesure que la charge entrante augmentera, la part de consommation énergétique liée à l'unité de méthanisation augmentera jusqu'à représenter plus de la moitié du bilan. Les valeurs obtenues en absolu seront présentées dans le Chapitre 7 en comparaison avec les résultats affichés par les différents candidats

A ce stade du travail préliminaire, il est intéressant de comparer la production de biométhane aux dépenses énergétiques de la station afin de vérifier s'il est possible d'atteindre un bilan global positif. Le Tableau 23 récapitule les résultats obtenus.

**Tableau 23: Bilan énergétique prévisionnel**

	20%	50%	100%
Biométhane (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /an)	98 733	197 693	362 626
PCI (kWh/Nm <sup>3</sup> )	10	10	10
<b>Total production (MWh/an)</b>	<b>987</b>	<b>1977</b>	<b>3626</b>
Poste de relevage	26	26	26
Prétraitements	19	19	19
Décanteurs primaire	39	39	39
Bassins biologiques	313	414	583
Clarificateurs	84	84	84
Digesteurs	431	832	1501
Filière boues	131	200	316
Épuration du biogaz	42	85	156
<b>Total consommations</b>	<b>1086</b>	<b>1701</b>	<b>2725</b>
<b>Bilan énergétique (MWh/an)</b>	<b>-99</b>	<b>276</b>	<b>901</b>

Cette première estimation laisse penser que la station d'épuration de Ville A pourrait être à énergie positive en situation future. Toutefois, il est important de nuancer cette conclusion compte tenu des hypothèses considérées en amont.

Le DCE indique qu'en régime de pointe, la station devra traiter 100% de la charge nominale en 2030. Ceci se traduit approximativement par une charge entrante en régime moyen de l'ordre de 50% de la charge nominale à l'horizon 2030. On pourrait donc prévoir l'atteinte de l'équilibre énergétique d'ici cette date.

## 6.5. Bilan économique

Les résultats obtenus montrent que l'intégration d'une unité de méthanisation devrait améliorer le bilan énergétique de la station. Toutefois, le bilan énergétique ne permet pas à lui seul de conclure quant à la faisabilité du projet. L'aspect économique est bien entendu déterminant pour le MOA. L'injection de biométhane dans le réseau permet certes de générer des recettes pour le MOA, mais il implique également un surcoût important à l'investissement lié à l'intégration du digesteur et des autres équipements associés à la production de biogaz. Afin que le projet puisse aboutir, il est donc nécessaire de le rendre économiquement viable en générant des recettes conséquentes dès la mise en route de la digestion.

En prenant pour hypothèse un prix de rachat du biométhane de 10c€/kWh et un prix de 15c€/kWh pour l'électricité, il apparaît difficile d'atteindre un bilan économique positif (Tableau 24).

**Tableau 24 : Bilan économique prévisionnel**

	20%	50%	100%
Consommations (MWh/an)	1 083	1 699	2 723
Dépenses (€/an)	-162 541	-254 785	-408 471
Location poste injection (€/an)	-70 000	-70 000	-70 000
Productions (MWh/an)	987	1 977	3 626
Recettes (€/an)	98 733	197 693	362 626
Bilan énergétique	-96	278	903
<b>Bilan économique</b>	<b>-133 808</b>	<b>-127 093</b>	<b>-115 845</b>

Ce résultat ne vient pas pour autant décrédibiliser l'intégration d'une unité de méthanisation sur le site de Ville A. En effet, ce bilan ne tient de toute manière pas compte de l'ensemble des frais généraux liés à l'exploitation de la station (salaires, maintenance, réactifs, dotations aux amortissements etc.) et n'a de valeur que s'il est comparé à une solution sans méthanisation. Afin d'évaluer les écarts entre les deux solutions, le calcul a donc été ré-effectué en supprimant les recettes liées à la vente de biométhane, la location du poste d'injection et la consommation énergétique du digesteur. La Figure 12 suivante permet de visualiser les résultats obtenus.

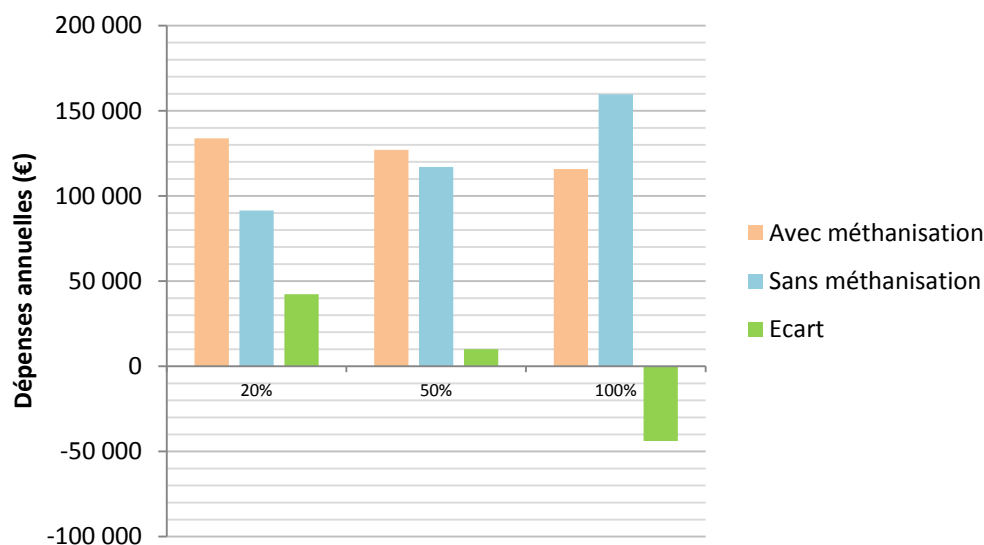


Figure 12: Comparaison économique avec et sans unité de méthanisation

Ce graphique démontre l'importance de la charge entrante sur la rentabilité d'un projet de digestion anaérobie et de valorisation du biogaz par injection réseau. Au moment de la mise en route, la faible production de boues attendue ne permet pas de produire suffisamment de biogaz pour être économiquement intéressante. A l'horizon 2030, la charge moyenne entrante (environ 50%) devrait permettre de générer suffisamment de recettes pour rendre les deux solutions presque équivalentes. Au-delà de 50% de charge, la situation s'inverse pour tendre à privilégier l'intégration de la digestion anaérobie dans la filière de traitement.

Pour conclure sur ce point, à court terme le bilan économique n'est pas positif mais il le sera très prochainement étant donné que la charge moyenne actuelle est d'environ 15 000 EH (soit 35% de la charge nominale). Il est intéressant de noter qu'à 100% de la charge nominale, la méthanisation permet d'économiser environ 70 000€ par an par rapport à une solution classique. Le digesteur étant dimensionné pour ce scénario maximal, il existera au moment de la mise en route un « vide » dans l'ouvrage qu'il pourrait apparaître judicieux de combler par l'incorporation de co-intrants. L'apport de matières extérieures à fort potentiel méthanogène pourrait permettre de faire fonctionner le digesteur à pleine capacité et ainsi décorrélérer la rentabilité économique du procédé de la charge amenée par le réseau d'assainissement.



## **6.6. Conclusions et perspectives**

Les calculs précédemment décrits permettent de conclure qu'avec un traitement spécifique des retours en tête, les volumes de bassin mis en jeu permettent tout juste d'atteindre la capacité de traitement souhaitée sur le paramètre azote, moyennant une augmentation progressive de concentration dans les bassins. La production de biométhane apparaît également limitée à la mise en service. Une attention particulière a donc été portée sur l'approche économique des candidats et l'éventuelle incorporation de co-intrants

Ce travail de dimensionnement, réalisé préalablement à la réception des offres, nous a permis d'entrer dans le cœur de la problématique, en se rendant compte des différents ordres de grandeurs impliqués et en prenant la mesure des enjeux et des difficultés à surmonter par les candidats dans le cadre de ce projet de restructuration de la station de Ville A. La confrontation de ces hypothèses de calcul avec celles des constructeurs est traitée dans le chapitre suivant.

## **7. ANALYSE DES OFFRES**

L'analyse comparative des offres constructeurs a constitué une étape de travail importante. L'objectif de cette partie n'est donc pas de lister exhaustivement l'ensemble des solutions techniques retenues par les candidats mais bien de se concentrer sur les points jugés utiles pour la compréhension des filières proposées ou ayant suscité le plus de questionnements. La démarche consiste à :

- présenter les principales données fournies ;
- les comparer entre elles et, si possible, avec le travail de pré-dimensionnement ;
- effectuer une analyse critique des choix techniques et des hypothèses retenues ;
- conclure en précisant les pistes d'optimisation envisagées

Les schémas synoptiques réalisés en début d'analyse sont fournis en Annexe 6, 7 et 8. Ils permettent d'avoir une vision globale de chaque offre et facilitent la compréhension des points qui vont suivre.

### **7.1. Données d'entrée**

#### **7.1.1. Débit**

La lecture des offres révèle une incompréhension sur la valeur du débit à faire passer sur la file biologique. Le DCE indique que le débit dimensionnant pour la future installation est un débit journalier de temps de pluie de 6780 m<sup>3</sup>/jour (soit 280 m<sup>3</sup>/h), mais que le débit de référence au sens réglementaire est de 5280 m<sup>3</sup>/jour (soit 220 m<sup>3</sup>/h). Nous avons vu que cet écart trouvait sa justification dans le dimensionnement du bassin d'orage (1500 m<sup>3</sup>).

Cet aspect n'ayant pas été clairement explicité, les candidats ont effectué leurs dimensionnements pour un débit de 280 m<sup>3</sup>/h au lieu de 220 m<sup>3</sup>/h. Le fait de considérer un débit plus important avant écrêtage est jugé sécurisant.

Une vérification a été effectuée à partir de la note de calcul. Les ouvrages en place sont suffisamment dimensionnés hydrauliquement pour faire passer un tel débit en conservant des paramètres de fonctionnement corrects. A titre d'exemple, le temps de séjour des effluents dans les bassins passent de 26 à 21 heures à charge nominale, ce qui reste acceptable.

#### **7.1.2. Charges de pollution**

Sur la base d'une remise en cause des projections du MOA (atteinte de la charge nominale en 2030), les candidats 1 et 2 ont jugé que les charges indiquées dans le DCE n'étaient pas représentatives des valeurs réellement reçues sur la station en situation future. Ces candidats ont choisi d'élaborer leurs propres scénarios à l'aide des données d'auto-surveillance fournies. Le Candidat 3 a conservé les charges indiquées :

Tableau 25 : Charges considérées pour le dimensionnement

		DCO	DBO5	MES	NTK	Pt
		kg/jour	kg/jour	kg/jour	kg/jour	kg/jour
<b>DCE</b>	nominal DCE	7761	2520	5461	505	168
<b>Candidat 1</b>	scénario max	7200	2408	3011	460	84
<b>Candidat 2</b>	moyenne	4079	1331	2764	269	85
	mois max	5303	1730	3593	349	111
	semaine max	6119	1996	4145	403	128
	jour max	7761	2520	5461	505	168
<b>Candidat 3</b>	nominal DCE	7761	2520	5461	505	168

Deux grandes informations peuvent être tirées du Tableau 25. La première est que la variabilité des hypothèses considérées par les candidats conduit à des écarts conséquents en termes de données de dimensionnement. Il est donc indispensable d'évaluer leur fiabilité avant de poursuivre l'analyse. En effet, nous avons pu voir qu'un point de vigilance sur ce projet restructuration est le traitement de l'azote. Lorsqu'un candidat revoit l'ensemble des hypothèses à la baisse, les paramètres de fonctionnement du traitement biologique seront nécessairement plus intéressants que ceux d'un candidat ayant considéré des charges de pointe. Par exemple, pour la vérification du traitement biologique, le Candidat 2 a choisi de se baser sur son scénario de mois maximal (Figure 13):

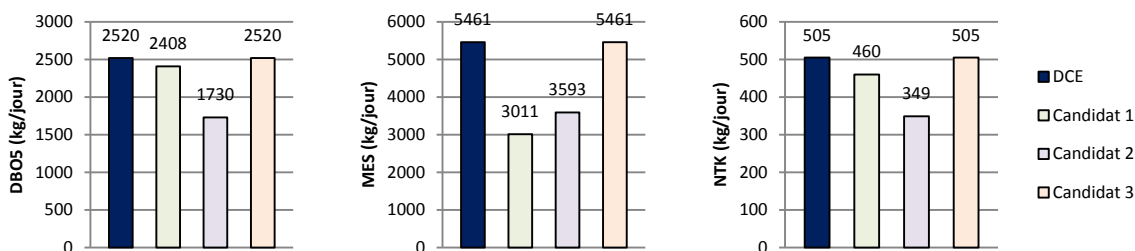


Figure 13 : Charges considérées pour le traitement biologique

Bien que la définition de scénarios intermédiaires fasse sens, notamment pour le dimensionnement de la file boues, il est nécessaire que chaque candidat justifie son choix afin de pouvoir juger de la pertinence des hypothèses proposées. Des questions ont donc été posées aux candidats sur ce point.

Les justifications du Candidat 1 sont claires et basées sur des hypothèses de projection revues légèrement à la baisse et sur un équilibrage du rapport MES/DBO5 se rapprochant des valeurs standards d'eaux résiduaires urbaines, ce qui est jugé pertinent. Le Candidat 2 fournit finalement très peu de détails quant aux hypothèses utilisées pour déterminer les charges affichées. Celles-ci sont les plus faibles parmi les 3 candidats, ce qui fait diminuer la fiabilité de son offre. Le Candidat 3 utilise les données les plus contraignantes ce qui présente un aspect sécurisant vis-à-vis des objectifs fixés par le MOA.

## 7.2. Process : file eau

### 7.2.1. Ecrêtage du débit et bassin d'orage

Tableau 26: Propositions constructeurs pour le bassin d'orage

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Forme	Circulaire	Rectangulaire	Rectangulaire
Type	Hors sol	Enterré	Enterré
Alimentation	Pompage	Surverse	Surverse
Commande d'alimentation	Vanne motorisée	-	-
Cote de trop plein	-	61,15	62,56
Vanne d'isolement murale	-	Non précisé	Oui
Dispositif de lavage	Hydroéjecteur	Auget basculant	Auget basculant
Dispositif d'accès	Trou d'homme	Trappe d'accès	Trappe d'accès

Pour les candidats 2 et 3, le bassin d'orage est enterré et alimenté par surverse dès que le débit dépasse 280 m<sup>3</sup>/h. La vidange est effectuée par pompage en amont du comptage d'entrée. Ce système est simple et robuste. Toutefois, la cote de trop-plein des bassins enterrés est inférieure à la cote des plus hautes eaux (PHE) figurant dans le DCE (63.50 m NGF).

Afin d'éviter une remontée des eaux de crue dans le bassin d'orage, le Candidat 2 prévoit une vanne d'isolement murale dans le regard de jonction entre la canalisation de trop-plein et la canalisation de rejet. Le Candidat 2 n'apporte aucune précision à ce sujet. Des pistes d'optimisation ont été exigées de la part de ces candidats.

L'approche du Candidat 1 est différente. Les contraintes de calage hydraulique, mais surtout de fondations et de nappe, par rapport à la cote PHE le conduise à proposer un bassin hors-sol alimenté par pompage.

La commande d'alimentation du bassin est effectuée à l'aide d'une vanne guillotine motorisée asservie au débit entrant sur la station. Dès que le débit dépasse 280 m<sup>3</sup>/h, la vanne s'ouvre progressivement de manière à limiter le débit entrant sur la file biologique. Ce système ne dispose d'aucun secours installé et demande à être optimisé.

Concernant les dispositifs de lavage du bassin, le Candidat 1 propose un hydroéjecteur et les autres des augets basculants. Ces derniers sont des équipements simples, robustes et peu consommateurs d'énergie et représentent donc un point positif.

Le dispositif d'accès au fond de l'ouvrage proposé par le Candidat 1 est un trou d'homme équipé d'une porte étanche en fond de bassin. Une question a été posée sur ce point. Le trou d'homme permet de faciliter l'accès par rapport à une échelle mais des précisions doivent être apportées concernant la conception de la porte au regard des risques de fuites potentiels lors du remplissage du bassin.

Les autres candidats proposent des trappes d'accès avec échelle amovible ou échelle flottante.

### 7.2.2. Poste de relèvement

Tableau 27 : Propositions constructeurs pour le poste de relèvement

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Nombre de pompes	2+1 secours	1+1 secours	1+1 secours
Débit unitaire (m <sup>3</sup> /h)	280	280	280
Débit visé (m <sup>3</sup> /h)	500	280	280

Les candidats 2 et 3 procèdent à un relèvement en sortie de dégrillage grossier conformément aux indications du DCE. Le poste de relèvement du Candidat 3 est situé dans le bassin d'orage et implique la traversée permanente des effluents dans ce dernier. Bien que l'air vicié du bassin soit envoyé vers la filière de traitement de l'air, ceci est jugé pénalisant.

Le Candidat 1 procède autrement et décide de relever le débit capable d'amenée du réseau, soit 500 m<sup>3</sup>/h à l'aide de trois pompes de 280 m<sup>3</sup>/h dont un secours installé. En procédant de la sorte, le Candidat compte augmenter sa production de boues primaires, ce qui est jugé pertinent à condition que le dessableur dégraisseur combiné existant (DDC) puisse effectivement fonctionner correctement pour un tel débit (voir partie suivante).

### 7.2.3. Prétraitements

La première étape de prétraitement est un dégrillage grossier de maille 10 mm pour l'ensemble des candidats, conformément au DCE. Dans les trois cas, le système installé est un dégrilleur droit vertical automatique.

Le Candidat 1 ne prévoit pas de grille de secours sur le by-pass de l'ouvrage, ce qui est jugé peu sécurisant. Une question a été posée sur ce point.

Les candidats 2 et 3 placent ensuite deux tamis rotatifs (dont un en secours) de maille 2 mm entre le relevage des eaux brutes et l'étape de déssablage dégraissage, conformément au DCE. Le Candidat 1 ne prévoit pas de tamis rotatifs car dispose d'un traitement primaire sur toile filtrante rotative (voir partie suivante). Ce point n'est pas jugé pénalisant tant que des garanties de performances suffisantes sont fournies sur ce dispositif.

Les candidats 1 et 2 conservent le DDC existant. Le Candidat 1 justifie de la capacité de l'ouvrage à faire passer 500 m<sup>3</sup>/h en fournissant une note de dimensionnement. Sur ce point, le travail de vérification a consisté à vérifier la charge hydraulique superficielle maximale (ou vitesse ascensionnelle) atteinte dans l'ouvrage. Afin d'assurer un bon fonctionnement du DDC, cette valeur doit se situer entre 10 et 20 m/h. La valeur affichée est de 17 m/h et jugée acceptable.

Le Candidat 3 fait le choix dans le cadre de ce projet de restructuration de démolir les bâtiments boues et prétraitements existants. Il propose en remplacement la mise en place de 2 DDC pour des raisons de fiabilité et de souplesse d'exploitation. Ceci n'est pas indispensable mais jugé sécuritaire d'un point de vue technique.

#### 7.2.4. Traitement primaire

Cette étape se situe en amont direct de la zone de répartition des files de traitement biologique. Les candidats 2 et 3 proposent de mettre en place deux files de décanteurs lamellaires sans réactifs, conformément au DCE. En termes de dimensionnement, les principales hypothèses sont présentées ci-dessous (Tableau 28).

**Tableau 28 : Hypothèses de dimensionnement des décanteurs lamellaires (unitaire)**

	Candidat 2	Candidat 3
Surface au miroir (m <sup>2</sup> )	10	23
Surface totale projetée (m <sup>2</sup> )	147	205
Vitesse au miroir (m/h)	15,5	7,2
Vitesse de Hazen (m/h)	1,03	0,68

Une fois encore, le Candidat 3 se positionne avec des ouvrages dimensionnés de manière plus sécuritaire que ses concurrents. La surface totale des lamelles est 40% supérieure à celle affichée par le Candidat 2, pour un même angle d'inclinaison des plaques (60°).

Le Candidat 1 se différencie en proposant un système breveté à toile filtrante, également sur deux files. Le principe de fonctionnement consiste à opposer une toile de maille 350 µm à l'arrivée des effluents prétraités. Un gâteau de boues se forme alors sur la toile et ce qui a pour conséquence d'augmenter le pouvoir de filtration du dispositif tout en épaississant les boues. L'épaisseur du gâteau est contrôlée par une mise en rotation de la toile asservie sur la mesure du niveau dans la bêche amont (traduisant donc un niveau de colmatage). Le candidat s'engage sur les performances de son dispositif.

Le traitement primaire constitue un ouvrage clé de la restructuration de la station de Ville A. Cet ouvrage possède un double rôle dans la filière de traitement :

- Abattre suffisamment la charge entrante pour pouvoir conserver les bassins biologiques existants
- Produire des boues primaires à fort potentiel méthanogène

Le fonctionnement de cette étape doit pouvoir être réglé finement en exploitation afin d'éviter de produire trop de boues primaires, ce qui exposerait le système biologique à un risque de carence en carbone nécessaire à la dénitrification. Les dispositifs de by-pass partiel et de régulation ont donc fait l'objet d'une attention particulière durant l'analyse.

L'ensemble des candidats ont pris ce paramètre en compte en installant des vannes motorisées, pilotables depuis le poste de supervision, sur les conduites d'alimentation des ouvrages primaires. Les candidats 1 et 3 proposent un asservissement sur le débit entrant mais ne précisent pas le mode de paramétrage de la consigne. Le Candidat 2 propose de paramétrer la consigne d'ouverture des vannes sur la mesure des nitrates dans les bassins biologiques, ce qui est jugé positivement.

Nous avons pu voir précédemment que le taux d'abattement des différents paramètres conditionne la capacité du traitement secondaire existant à atteindre les performances

épuratoires souhaité, notamment sur le paramètre azote (dénitrification). Le Tableau 29 compare les hypothèses prises en compte par les candidats.

**Tableau 29 : Hypothèses d'abattement sur le traitement primaire**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
DCO	30%	27%	52%	50%
DBO5	40%	31%	45%	35%
MES	60%	53%	67%	35%
NTK	10%	9%	17%	10%
Pt	15%	18%	16%	0%

Globalement les hypothèses utilisées pour le pré-dimensionnement de la station sont dans la gamme de valeurs proposées par les candidats. En termes de performances, le Candidat 2 estime atteindre des niveaux d'abattement bien plus élevés que ses concurrents sur l'ensemble des paramètres. Ces hypothèses viennent s'ajouter aux faibles valeurs de charges entrantes et tendent à surestimer la capacité de l'existant pour les étapes de nitrification/dénitrification. Sur cette étape, le Candidat 3 a une fois de plus considéré des hypothèses pessimistes. Les productions de boues primaires sont déduites de l'abattement des MES (Tableau 30).

**Tableau 30: Hypothèses de production de boues primaires**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Production de boues primaires	nominal DCE	scénario max	semaine max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	3277	1595	2856	2731

Ces résultats viennent confirmer ce qui a été conclu précédemment pour le Candidat 2, à savoir une forte production de boues primaires pour de faibles charges entrantes. Ceci est jugé peu sécuritaire au regard des objectifs de traitement de l'azote, de la production de boues primaires, et par voie de conséquence de la production attendue de biogaz.

#### 7.2.5. Traitement secondaire

Conformément au DCE, les candidats conservent les ouvrages biologiques existants, sauf le Candidat 3 qui décide de fermer le chenal anoxie en demi-cercle et de reconvertir l'actuelle zone anaérobie en anoxie afin de disposer d'un plus grand volume pour la dénitrification (Tableau 31) :

**Tableau 31: Volumes pris en compte pour le traitement secondaire**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Zone de contact	125	112	nr	125
Zone anaérobie	680	644	nr	0
Zone anoxie	680	inclus ci-dessous	nr	1456
Zone aérée	4400	4922	nr	4094
TOTAL	5885	5678	nr	5550

De légères variations peuvent être observées concernant les volumes en place, selon l'origine des données utilisées par les candidats (plusieurs études de faisabilité indépendantes fournies en phase d'appel d'offres).

Le Candidat 2 ne précise pas les hypothèses de dimensionnement. Ce type d'observation est fréquemment rencontré à la lecture de son offre, étant donné que la plupart des calculs ont été effectués sur un logiciel de simulation interne. Des compléments d'informations issus de son outil numérique ont été demandés afin de juger de la fiabilité des hypothèses utilisées.

Les flux à traiter sur le traitement secondaires sont les flux aval du traitement primaire. Ceci découle non seulement des taux d'abattement prévus sur cette étape mais également des hypothèses de charges entrantes sur la station. Les résultats sont fournis ci-dessous (Tableau 32).

**Tableau 32: Flux entrant sur le traitement secondaire**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Retours en tête	Traités	Traités	Non traités	Traités
DCO	4657	5287	2943	5045
DBO5	1764	1658	1090	1666
MES	2184	1414	1355	2929
NTK	455	307	334	476
Pt	143	69	107	168

Sur la plupart des paramètres les hypothèses de la note de calcul et celles du Candidat 3 sont les plus contraignantes, notamment sur le paramètre azote. A l'inverse, les valeurs du Candidat 2 semblent optimistes, notamment compte tenu de l'absence de traitement des retours en tête qui sont donc inclus dans les charges indiquées (voir 7.2.6).

Par ailleurs, ces valeurs correspondent à son scénario de semaine maximale et le mémoire précise que le traitement biologique a été vérifié sur le mois maximal : l'approche est peu sécuritaire pour l'avenir et une question a été posée sur ce point.

Les paramètres de fonctionnement du traitement biologique sont détaillés pour les candidats 1 et 3. Le Candidat 2 est moins transparent sur ce point et fournit des résultats de simulation. Les productions de boues secondaires sont indiquées dans le Tableau 33.

**Tableau 33 : Hypothèses de production de boues biologiques**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Production de boues biologiques	nominal DCE	scénario max	mois max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	1762	1388	1295	1569
Production de boues P/C	nominal DCE	scénario max	mois max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	670	271	nr	586
Production de boues secondaires	nominal DCE	scénario max	mois max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	2432	1659	1295	2155
Age de boues annoncé (jours)	10	8	(19)	15.5
Concentration MES (g/l)	4.5	3.8	6.7	4.4
Charge massique MES*	0.07	0.09	0.04	0.09
Charge massique MVS*	0.10	0.14	0.09	0.11

\* en kgDBO5/kg/jour



Le Candidat 2 a procédé en fixant un âge de boues à 19 jours et déduit des paramètres de fonctionnement sur la base des volumes de l'existant et de sa production de boues secondaires sur le mois max. Le jour max aurait également été testé. Des clarifications ont été demandées à ce sujet, car la concentration affichée de 6.7 g/l est jugée peu sécuritaire.

Les retours d'expérience sur le fonctionnement des stations à boues activées faible charge montrent que la concentration idéale se situe aux alentours de 4 à 5 g/l. Au-delà de cette valeur, la diffusion de l'oxygène dans le bassin devient moins efficace, ce qui nécessite de compenser en augmentant l'aération et donc la consommation énergétique globale de la station.

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation de station, l'écart entre les paramètres de fonctionnement du traitement biologique devrait être faible étant donné que chacun dispose initialement des mêmes volumes et des mêmes charges entrantes. Cependant, le remaniement des données de base, la présence d'une décantation primaire et l'application de différentes méthodes de calcul de production de boues conduit à une accumulation d'hypothèses qui peut générer des différences notables sur les paramètres affichés.

Sur ce point, les différences de production de boues secondaires entre les candidats ne permettent pas de justifier les écarts observés sur les âges de boues (8 à 19 jours), même en ajustant la concentration considérée dans les bassins. La vérification des calculs à l'aide des hypothèses fournies n'a pas permis d'obtenir les mêmes résultats que les candidats, qui appliquent en réalité des formules différentes pour le calcul de l'âge de boues.

Sur ce point, certains candidats considèrent la totalité des masses de boues du système (bassins et clarificateurs), d'autres semblent inclure la zone anaérobie dans le calcul, et parfois seules les MVS sont prises en compte. Afin de comparer les candidats sur la même base, le calcul de l'âge de boues a été ré-effectué sur les volumes considérés dans la note de calcul et en appliquant une concentration en MES de 4.5 g/l. La formule de détermination de l'âge de boues utilisée est la suivante (*Méthode de calcul d'une filière de traitement*, Sadowski, 2002) :

$$\text{Age de boues (jours)} = \frac{\text{Masse de boues dans le réacteur (aéré et anoxie)}}{\text{Masse de boues extraite par jour (MES)}}$$

Les résultats obtenus par l'application de cette formule sont les suivants :

**Tableau 34 : Comparatif des âges de boues obtenus**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Volume considéré (m3)	5205	5205	5205	5885
Production de boues* (kg MS/jour)	2432	1659	1295	2155
Concentration MES (g/l)	4,5	4,5	4,5	4,5
Age de boues théorique	10	14	18	12

\* biologiques et physico-chimiques

Le volume considéré pour le Candidat 3 inclut la transformation des zones anaérobies centrales en zones anoxies. La valeur obtenue pour le Candidat 2 est difficilement comparable à celles de ses concurrents, étant donné que le scénario proposé correspond au mois maximal. Le tableau montre que les hypothèses de la note de calcul sont

particulièrement contraignantes du fait des charges élevées (et donc de la production de boues élevée). Pour conclure sur cet aspect, les paramètres proposés sont acceptables pour un état limite de fonctionnement de la station (charge nominale).

#### 7.2.6. Retours en tête

Le traitement des retours en tête était préconisé dans le DCE étant donné les charges entrantes et les volumes existants. Cette problématique a pu être confirmée au cours du travail de pré-dimensionnement. Les caractéristiques des centrats de déshydratation du digestat sont présentées ci-dessous.

**Tableau 35 : Comparatif des flux de retours en tête**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Débit (m <sup>3</sup> /jour)	422	70	385	105
MES (kg/jour)	546	70	507	198
DBO5 (kg/jour)	454	12	182	31
NTK (kg/jour)	101	104	76	105

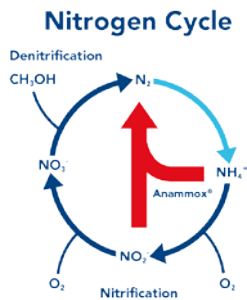
Les hypothèses considérées suite à l'étude bibliographique semblent surévaluées sur les paramètres débit, MES et DBO5. D'une manière générale on note une forte disparité entre les candidats sur ces trois paramètres. Toutefois l'ordre de grandeur est retrouvé sur le paramètre azote, qui peut donc être approximé en considérant 20% de la charge entrante (Couturier et al., 2001).

Les choix retenus par les candidats pour la prise en charge de ces flux sont récapitulés dans le Tableau 36 :

**Tableau 36 : Comparatif des traitements des retours en tête**

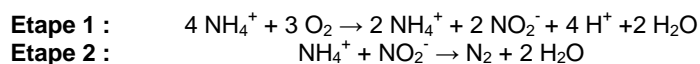
	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Traitement spécifique	Oui	Non	Oui
Type de réacteur	SBR	-	RPA
Volume réacteur	125	-	480
Type bactéries	Anammox	-	Anammox
Température	12°C	-	30°C
Aération	Syncopage	-	Syncopage
Agitation	Oui	-	Oui
Extraction eau traitée	Gravitaire	-	Pompage

Le Candidat 2 est le seul à ne pas proposer de traitement spécifique des retours issus de la déshydratation du digestat. Afin d'éviter de trop surcharger le traitement biologique, une bache tampon de 385 m<sup>3</sup> est prévue afin de réguler le débit renvoyé en tête de filière en pompant pendant les heures creuses. Cette solution est jugée peu sécurisante comparé aux autres candidats.



Le procédé retenu par les candidats 1 et 3 est basé sur la mise en place d'un réacteur spécifique dédié au développement de bactéries anammox. Ces bactéries permettent d'éliminer la pollution azotée plus efficacement que par le processus classique de nitrification-dénitrification. L'azote contenu dans les eaux usées est principalement présent sous forme d'ammoniac (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Les bactéries anammox sont capables de synthétiser du diazote (N<sub>2</sub>) à partir d'ammoniac et de nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). L'aération modérée permet d'effectuer une nitrification partielle et

ainsi de transformer la moitié de l'ammoniac en nitrites qui sont alors utilisés comme substrat par les bactéries anammox.



Dans le cas d'une aération trop poussée, il se produirait une nitrification complète de l'ammoniac, ce qui transformerait les nitrites en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et priverait les bactéries anammox d'une partie de leur substrat, rendant le procédé inefficace. L'aération doit donc être finement régulée afin d'atteindre l'objectif souhaité (« shunt » des nitrates). Ce type de procédé est relativement nouveau dans le domaine du traitement des eaux usées mais commence à se populariser du fait du durcissement des normes de rejets et de l'augmentation du coût de l'énergie. Les performances des deux systèmes ont été fournies en termes d'abattement (Tableau 37) :

**Tableau 37 : Comparatif des taux d'abattement des retours en tête**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
MES (%)	100%	50%	0%	0%
DBO5 (%)	100%	67%	0%	10%
NTK (%)	100%	95%	0%	80%

Selon ces hypothèses, les flux de retours en tête traités sont les suivants :

**Tableau 38 : Comparatif des flux de retours en tête traités**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Débit (m3/jour)	422	70	inchangé	105
MES (kg/jour)	0	35	inchangé	198
DBO5 (kg/jour)	0	4	inchangé	28
NTK (kg/jour)	0	5	inchangé	21

Le système du Candidat 1 est jugé plus sécurisant de par ses performances. Ce candidat se distingue également en s'affranchissant du chauffage généralement nécessaire sur ce type de procédé, ce qui n'est pas le cas du Candidat 3 qui doit maintenir une température de 30°C dans le réacteur à l'aide de thermoplongeurs.

Une question a été posée au Candidat 1 afin de confirmer que son procédé ne nécessite pas de chaleur supplémentaire.

Le volume des réacteurs est également un point positif de la solution du Candidat 1, 125 m<sup>3</sup> contre 480 m<sup>3</sup> chez son concurrent. Ce volume élevé entraîne un long temps de séjour, ce qui est particulièrement pénalisant du point de vue énergétique étant donné les besoins en

chaleur du Candidat 3 sur cette étape. Une question a été posée aux deux candidats afin de mieux comprendre les paramètres de fonctionnement biologique du procédé. L'aspect confidentiel de ces technologies n'aura pas permis au Candidat 3 de fournir des informations sur l'âge de boues, la concentration dans le bassin ou encore la production de boues attendue.

A titre informatif, le Candidat 1 produit 23 kg de MES par jour et affiche un âge de boues de 30 jours. La concentration dans le réacteur est donc de 5.5 g/l, ce qui reste dans l'ordre de grandeur des valeurs observées dans les bassins biologiques.

#### 7.2.7. Traitement tertiaire

Tous les candidats ont proposé un traitement tertiaire par filtration sur tambours rotatifs de maille 10 µm.

Le Candidat 1 se pénalise légèrement en proposant uniquement une file, contre deux chez ses concurrents. Une question a été posée au Candidat sur ce point.

En cas d'intervention sur l'équipement, l'ouvrage devra effectivement être entièrement by-passé. Cependant, compte tenu de la fréquence de l'évènement et du rôle d'affinage de cette étape dans la filière de traitement, ceci est jugé acceptable par le Candidat qui chiffre l'installation d'un second filtre à plus de 200 000€.

Les boues tertiaires sont issues du lavage des filtres. Etant faiblement concentrées, l'ensemble des candidats les renvoient vers le poste toutes eaux puis en tête de filière.

#### 7.2.8. Relevage des eaux traitées

Nous avons pu voir qu'un sujet de calage hydraulique existe dans le cadre de ce projet de réhabilitation. Sur ce point, tous les candidats n'ont pas respecté la cote des plus hautes eaux indiquée dans le DCE.

**Tableau 39: Comparatif des calages hydrauliques au point de rejet**

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Poste de relèvement	Oui	Non	Oui
Niveau canal de sortie	63.80	63.10	63.50
Cote PHE à considérer	63.50		

Les candidats 1 et 3 proposent respectivement de relever les effluents traités en aval ou en amont du traitement tertiaire. Les deux solutions sont effectivement possibles. Toutefois, le MOA a évoqué la possibilité d'aménager une zone de rejet végétalisée sur une parcelle voisine de la station. L'aménagement de cette zone figurait dans le DCE sous la forme d'une tranche conditionnelle à chiffrer. Dans le cas de cette ZRV, les eaux traitées devraient être refoulées et l'offre du Candidat 1 est donc adaptable par simple changement des pompes de reprise.

Le Candidat 2 ne propose pas de poste de relèvement final. Ceci est rendu possible par la non prise en compte de la cote PHE indiquée dans le DCE. Une demande de clarification a été demandée.

Selon le Candidat, le caractère exceptionnel de la crue ayant conduit à ce niveau ne justifie pas la mise en place d'un relevage permanent des eaux traitées. Tel que conçu, les effluents ne subiraient pas d'étape de traitement tertiaire en cas de forte crue. Cette justification est jugée pertinente et fera l'objet d'une discussion avec le MOA.

### 7.3. Process : file boues

#### 7.3.1. Epaississement

Les choix et hypothèses des candidats sont rassemblés dans le Tableau 40:

**Tableau 40 : Comparatif des hypothèses de siccité sur les boues**

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Boues primaires	Aucun	1 épaisseur hersé	1 épaisseur hersé
<i>siccité à l'extraction</i>	30 – 80 g/l	25 g/l	8 – 10 g/l
Boues secondaires	2 tables d'égouttage	2 tables d'égouttage	1 flottateur
<i>siccité à l'extraction</i>	10 g/l	8 g/l	8 g/l

Plusieurs questions ont été soulevées à la lecture des offres. Le Candidat 1 choisit de ne pas épaisir les boues primaires car son procédé de filtration lui permet d'atteindre une concentration élevée. En cas de nécessité, le Candidat affirme pouvoir faire passer les boues primaires sur les tables d'égouttage par un jeu de vannes. Une vérification a été effectuée afin de valider le dimensionnement des équipements prévus (Tableau 41)

**Tableau 41 : Vérification du dimensionnement des tables d'égouttage (Candidat 1)**

	Candidat 1
Nombre de tables d'égouttage	2
Capacité unitaire (kg MS/h)	180
Capacité totale (kg MS/h)	<b>360</b>
Boues primaires (kg MS/h)	66
Boues secondaires (kg MS/h)	69
<b>TOTAL</b>	<b>136</b>
	validé

Nous remarquons qu'en cas d'opération de maintenance sur une des tables d'égouttage, la capacité unitaire des équipements est suffisante pour traiter la totalité des boues produites sur le site. Cette sécurité de fonctionnement en mode dégradé est appréciée.

Le Candidat 3 propose un flottateur pour épaisir les boues secondaires. Cette étape nécessite d'injecter de l'air dans les boues extraites du clarificateur. Etant donné qu'une digestion anaérobie est située en aval direct de cette étape, une confirmation d'absence de risques d'inhibition liés à la présence d'oxygène dans les boues a été demandée au Candidat.

La siccité en sortie des boues épaisies est de 6% pour tous les candidats.

### 7.3.2. Digestion

Le Tableau 42 récapitule les flux entrants en digestion pour l'ensemble des candidats.

**Tableau 42: Flux entrant en digestion**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Production de boues primaires	nominal DCE	scénario max	semaine max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	3113*	1595	2856	2731
Production de boues biolog.	nominal DCE	scénario max	mois max	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	2310*	1659	1295	1569
Production de boues P/C	-	-	-	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	inclus ci-dessus	inclus ci-dessus	inclus ci-dessus	586
Apport de boues externes	nominal DCE	DCE	DCE	DCE
<i>kg MS/jour</i>	548	548	548	548
Production de graisses	nominal DCE	scénario max	semaine max	
<i>kg MS/jour</i>	95	129	128	115
Co-intrants	nominal DCE	scénario max	non précisé	
<i>kg MS/jour</i>	0	2798	1082	0
<b>TOTAL</b>	nominal DCE	scénario max	Cocktail**	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	6065	6729	5909	5548
<i>kg MVS/jour</i>	4246	5181	4136	3797
<i>%MVS</i>	70%	77%	70%	68%
<i>g/l</i>	60	83	99	48
<i>m<sup>3</sup>/jour</i>	101	78	84	122

\* en considérant un taux de capture de 95% sur les étapes d'épaississement

\*\* terminologie utilisée par le Candidat pour évoquer l'association de plusieurs scénarios

Un point particulièrement important à relever sur ce tableau est l'absence de co-intrants dans la solution du Candidat 3. Suite aux calculs effectués en pré-dimensionnement, ceci rend sa solution particulièrement fragile en termes de potentiel de recettes. La nature des co-intrants et leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 43 : Comparatif des co-intrants**

	Candidat 1		Candidat 2
Nature	Déchets de pain	Graisses	Glycérine
Siccité	59%	13%	27%
Taux de MVS	96%	85%	~100%
<i>kg MS/jour</i>	évolutif	évolutif	1082

La stratégie d'alimentation du digesteur en co-intrant est peu détaillée chez le Candidat 2. En situation future, le scénario en régime moyen consiste à injecter 790 kg MS/jour de glycérine et 1082 kg MS/jour pour le scénario de dimensionnement.

L'approche du Candidat 1 consiste à ajuster la quantité de co-intrant en fonction du « vide » disponible dans le digesteur. Cette stratégie semble particulièrement adaptée aux objectifs de ce projet. En effet, nous avons pu voir qu'en fonctionnant à faible régime, les besoins énergétiques du digesteur sont trop élevés par rapport à la production de biogaz pour atteindre un bilan d'exploitation financièrement intéressant pour le MOA. L'étude de caractérisation des gisements réalisée par le candidat lui a permis de conclure que la part de co-intrants ne peut excéder 50% du mélange total. Au regard des valeurs caractéristiques affichées, cette condition se justifie par des contraintes de siccité et de typologie de mélange

à respecter pour assurer le bon fonctionnement du procédé de méthanisation en voie liquide. La prise en compte de ces différents paramètres par le Candidat 1 est jugée positivement.

En termes de nature des intrants, le choix du Candidat 1 s'est portée sur une étude de gisement des sous-produits des industries présentes dans un rayon de moins de 50 km. Le Candidat 2 exploite une usine de production de biocarburants dont la glycérine est un des sous-produits. L'avantage de la glycérine est d'être extrêmement méthanogène. Toutefois, ce produit est aujourd'hui coté en bourse et son prix tend à fluctuer régulièrement en fonction de l'évolution de l'offre et de la demande. Ceci est jugé négativement vis-à-vis du MOA auquel il est difficile de garantir des coûts d'approvisionnement fixes sur la durée d'exploitation de la station.

L'approche du Candidat 1 démontre un réel travail sur l'importance des co-intrants, au regard de la maximisation de la production de biogaz mais également sur les équilibres à respecter en termes de composition. D'un point de vue purement technique, l'approche est jugée plus pertinente que celle de son concurrent. Toutefois, ce dernier ne semble également pas en mesure de fournir des garanties d'approvisionnement sur ces apports qui constituent pourtant un point central de l'offre.

Afin de sécuriser la solution proposée pour le MOA, des garanties sur 10 ans minimum ont été demandées aux deux candidats. En l'absence de garantie, les Candidats seront contraints de revoir leur offre sans co-intrants.

Afin que d'améliorer le fonctionnement du procédé de digestion, il est préférable d'injecter un mélange homogène dans l'ouvrage. Le Candidat 3 propose d'installer une bache d'homogénéisation des boues en amont du digesteur, ce qui est jugé positif.

Le Candidat 1 suit la même logique sur les boues mais pas sur les co-intrants qui sont injectés directement dans le mélange. Une question a été posée sur ce point.

Le Candidat 2 injecte en ligne la totalité des intrants, ce qui est jugé moins pertinent. Les hypothèses retenues pour le dimensionnement du digesteur et pour la production de biogaz sont présentées ci-dessous (Tableau 44) :

**Tableau 44: Hypothèses de dimensionnement du digesteur et production de biogaz**

	Note de calcul	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Régime max	thermophile °55C	thermophile °55C	thermophile °55C	thermophile 55°C
Volume digesteur (m <sup>3</sup> )	1698	1600	1018	2116
Temps de séjour (jours)	12	20.6	12	17
Charge organique*	2.5	3.1	4.1	1.8
Rendement sur MS	28%	54%	45%	29%
Rendement sur MVS	40%	67%	62%	50%
Rendement (Nm <sup>3</sup> /kg MVS éliminé)	0.90	0.68	0.75	0.95
Production de biogaz (Nm <sup>3</sup> /h)	41	98	80	75
Taux de méthane	65%	64%	non précisé	65%
<b>Production de boues digérées</b>	nominal DCE	scénario max	cocktail	nominal DCE
<i>kg MS/jour</i>	4367	3067	3214	3965
<i>g/l</i>	45	40	41	32
<i>m<sup>3</sup>/jour</i>	97	77	78	124

\* kg MVS/m<sup>3</sup>/jour  
 \*\* Nm<sup>3</sup>/kg MVS éliminé

Dans la continuité des observations précédentes, les hypothèses de charges élevées de départ conduisent le Candidat 3 à proposer le plus gros digesteur et inversement pour le Candidat 2. On remarque également que ce dernier utilise une nouvelle fois les hypothèses les moins sécuritaires, en proposant un fonctionnement à charge organique élevée et le temps de séjour le plus bas. Toutefois, les valeurs affichées restent acceptables pour un fonctionnement en régime thermophile.

Les débits de biogaz attendus sont logiquement plus élevés pour les candidats 1 et 2 qui introduisent des co-intrants dans le mélange pour augmenter la production.

Concernant le fonctionnement du digesteur, les deux points ayant fait l'objet d'une attention particulière sont l'agitation et le chauffage :

**Tableau 45 : Comparatif du fonctionnement des digesteurs**

		Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Agitation	Type	Mécanique horizontal + pompage	Mécanique axial	Mécanique axial
	Vitesse de rotation (tours/minute)	600	1480	1500
Chauffage	Puissance (kW)	18.5 + 18.5	1.1	7.5
	Autoconsommation	Non	Oui (cogénération)	Non
	PAC sur eau traitée	Oui (1)	Oui (en complément)	Oui (12)
	Autres récupérations	Non	Air chaud surpresseurs	Non

L'agitateur prévu par le Candidat 2 possède une puissance de fonctionnement très faible et pose la question de son efficacité. Une question a été posée afin de vérifier que le dossier ne contenait pas d'erreur, ce qui a été confirmé par le Candidat.

En installant une pompe de brassage en complément de l'agitateur, le Candidat 1 est plus sécurisant sur le dispositif d'agitation.

Nous avons pu voir lors des calculs de pré-dimensionnement que le dispositif de chauffage du digesteur est le poste le plus consommateur d'énergie sur la station.

Le Candidat 1 installe une unique pompe à chaleur (PAC) sur les eaux traitées, ce qui est jugée très peu sécurisant. Une question a été posée sur ce point à l'issue des auditions.

A l'inverse, le Candidat 3 propose 12 PAC afin de disposer d'une plus grande souplesse en exploitation (modularité). Ceci est jugé certes plus sécurisant mais l'accumulation d'équipements largement dimensionnés se répercute sur le prix global de l'offre, ce qui finit par pénaliser le Candidat.

A partir de 50% de la charge nominale, nous avons vu qu'une évolution du régime mésophile (37°C) à thermophile (55°C) était nécessaire. Les candidats 2 et 3 proposent des équipements suffisamment dimensionnés dès la mise en route de l'unité.



Ce n'est pas le cas du Candidat 1 qui signale qu'une nouvelle PAC de plus grande capacité devra être achetée par le MOA, ce qui est jugé pénalisant. Une fiabilisation de ce dispositif a été demandée.

#### 7.4. Valorisation du biogaz

Le Candidat 2 est le seul à avoir proposé une cogénération au lieu d'une injection dans le réseau de gaz naturel. Il est également le seul à avoir fourni une étude comparative des deux solutions, ce qui est apprécié. D'après le Candidat 2, bien que l'injection génère davantage de recettes que la cogénération, celle-ci engendre un surcoût considérable en investissement (dispositif d'épuration du biogaz) et en frais d'exploitation (location du poste d'injection) qui conduit à un retour sur investissement global deux fois plus long qu'en valorisant le gaz directement sur site.

Ceci est jugé pertinent et une question a été posée aux autres candidats visant à justifier leur choix.

#### 7.5. Consommations de réactif

Les trois principaux réactifs utilisés dans les stations de traitement des eaux usées sont le chlorure ferrique (déphosphatation physico-chimique), les polymères (conditionnement des boues) et la chaux (déshydratation).

Tableau 46 : Comparatif des consommations de réactifs

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Chlorure ferrique (t/an)	236	366	587
P entrant (t/an)	84	111	168
Volume de la cuve (m3)	25	25	25
Autonomie de stockage (semaine)	7.8	5	3.1
Polymère épaissement (t/an)	2.8	2.8	0
Boues à traiter (t MS/an)	2207	1295	0
Taux (kg MA/ t MS)	3.5	6	0
Polymère déshydratation (t/an)	14	13	0
Boues à traiter (t MS/an)	3067	3214	0
Taux (kg MA/ t MS)	10	11	0
Chaux (t/an)	343	176	434
Boues à traiter (t MS/an)	3067	3214	3965
Taux de chaulage (%)	30%	15%	30%
Volume du silo (m3)	25	50	40
Autonomie de stockage (semaine)	2.9	11	4

Les écarts de consommation en chlorure ferrique se justifient par la charge entrante en phosphore considérée et également, pour le Candidat 3, par la suppression de la zone anaérobie et l'utilisation du chlorure ferrique pour le conditionnement des boues avant l'étape de déshydratation (d'où l'absence de consommation de polymère chez ce candidat). Le Candidat 2 considère un taux de chaulage de seulement 15%. Ceci est jugé peu sécurisant comparé aux autres candidats. En revanche, il propose un stockage de plus grand volume ce qui permet de compenser dans le cas où ce taux devait être réévalué à la hausse.

## 7.6. Bilan énergétique

Le travail de pré-dimensionnement avait permis de faire une première estimation des consommations énergétiques attendues sur la station en intégrant une étape de méthanisation. L'analyse des bilans d'exploitation fournis par les candidats a permis de comparer les consommations énergétiques à 100% de la charge nominale (hors énergie « récupérée » indirectement par injection pour les candidats 1 et 3).

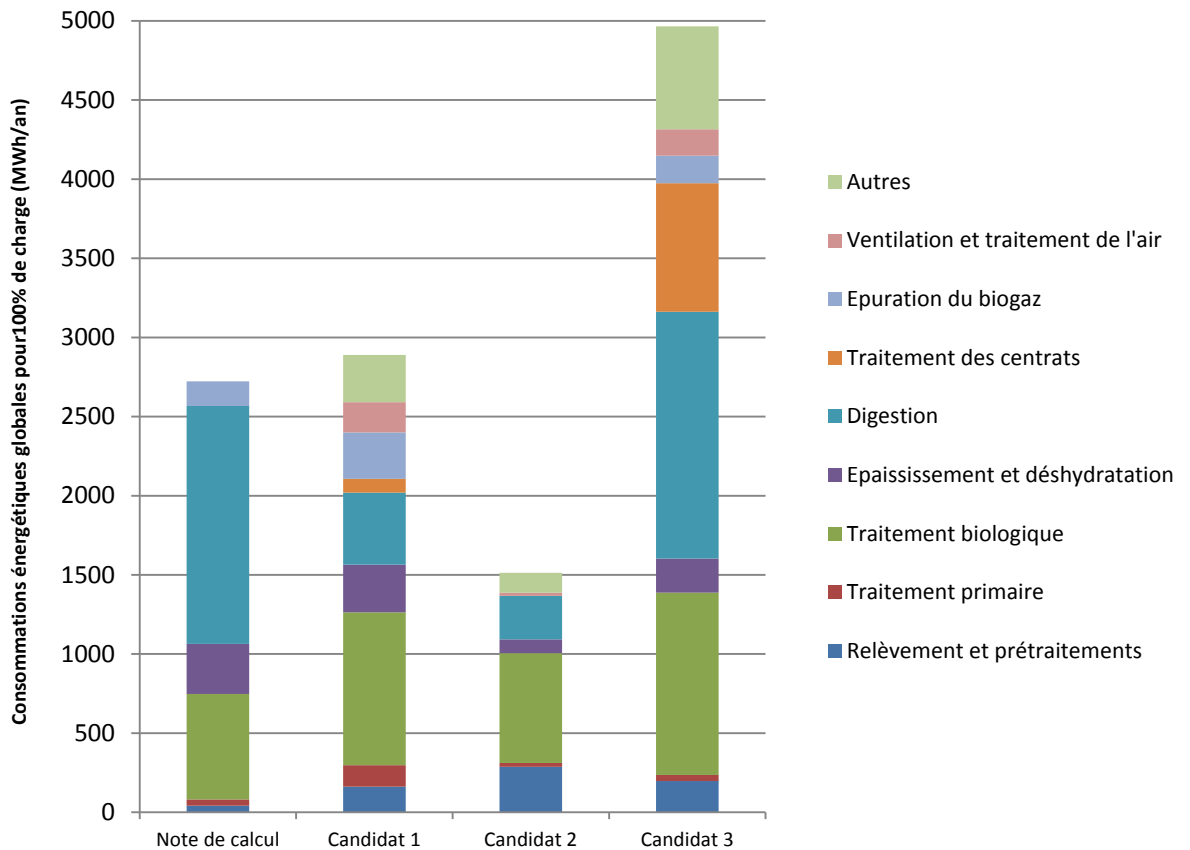


Figure 14 : Comparatif des consommations énergétiques globales

Les différentes valeurs affichées dans ce graphique trouvent leur justification dans l'ensemble des aspects analysés dans ce chapitre. Le point le plus flagrant est l'écart entre les consommations énergétiques globales. L'écart commence à se creuser considérablement entre les candidats à partir de l'étape de digestion. En partant des hypothèses de départ les plus contraignantes et en dimensionnant largement son unité de méthanisation, le Candidat 3 affiche des besoins de chauffage 3 à 4 fois plus élevé que ses concurrents. Le dispositif de traitement des centrats prévu par ce même Candidat est également très lourd dans le bilan. Le Candidat 2 possède le bilan énergétique le plus intéressant du fait de la valorisation du biogaz par cogénération et de la récupération de chaleur sur les surpresseurs d'air des bassins d'aération.

Ces bilans sont à mettre en lien avec l'énergie produite par l'unité de méthanisation. Dans le cas du Candidat 2, la chaleur produite par cogénération est utilisée pour les besoins du digesteur et le solde restant n'est pas valorisable. Seule la production d'électricité peut donc

rentrer en compte. En affichant une production de 0.92 kWh élec/kg MS entrant dans le digesteur, la production d'énergie du Candidat 2 serait de 1 984 242 kWh/an à charge nominale, ce qui reste bien inférieur aux valeurs atteintes par les autres candidats (énergie consommée en bleu, énergie injectée en orange).

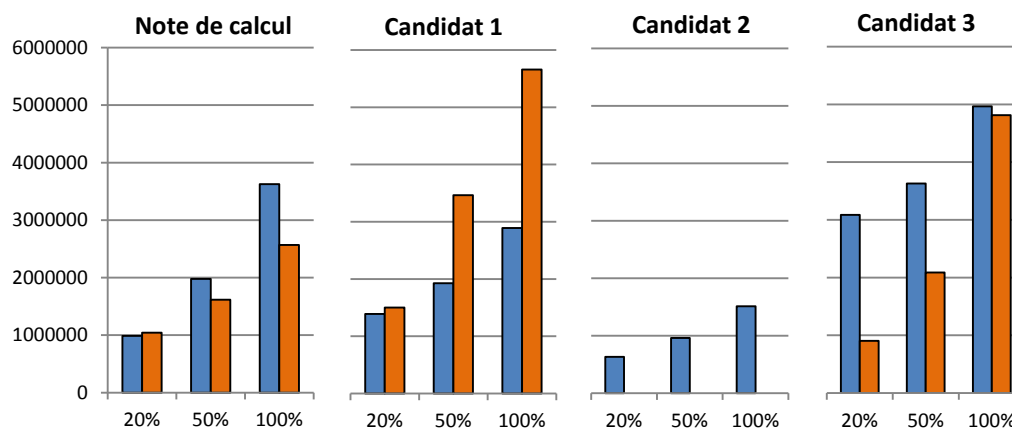


Figure 15 : Comparatif des évolutions de consommations et de production énergétiques

Les résultats obtenus sont très variables. Etant donné que chacun travaille avec des hypothèses différentes, il paraît difficile de faire une analyse comparative de ces graphiques en se basant uniquement sur les performances absolues. Toutefois, l'écart entre consommations et productions présente un réel intérêt dans l'analyse des performances énergétiques. En effet, on remarque que seul le Candidat 1 présente un bilan d'énergétique positif. Ce gain est largement apporté par la maximisation de la quantité de co-intrants injecté dans le mélange dès la phase de mise en route de l'unité. En considérant la production d'électricité citée plus haut, le Candidat 2 fait mieux que le Candidat 3.

### 7.7. Implantation générale

Dans le cadre de la réhabilitation de la station de Ville A, deux points importants sont notamment à prendre en considération dans l'analyse de l'implantation des différents ouvrages :

- respect de la réglementation ICPE
- ergonomie générale du site

Le traitement par digestion anaérobie de co-intrants d'origine extérieure fait entrer la station dans le champ d'application de la nomenclature ICPE rubrique 2781-2. A ce titre, la distance minimale d'implantation du digesteur, de la bêche à boues digérées et des zones de stockage des co-intrants par rapport au cours d'eau est de 35 mètres (arrêté du 10 novembre 2009). Le site étant bordé par la Rivière au Sud et par le bras mort au Nord, les prescriptions de l'arrêté contraignent considérablement les possibilités d'implantation pour les candidats (zone en rouge sur la Figure 16).

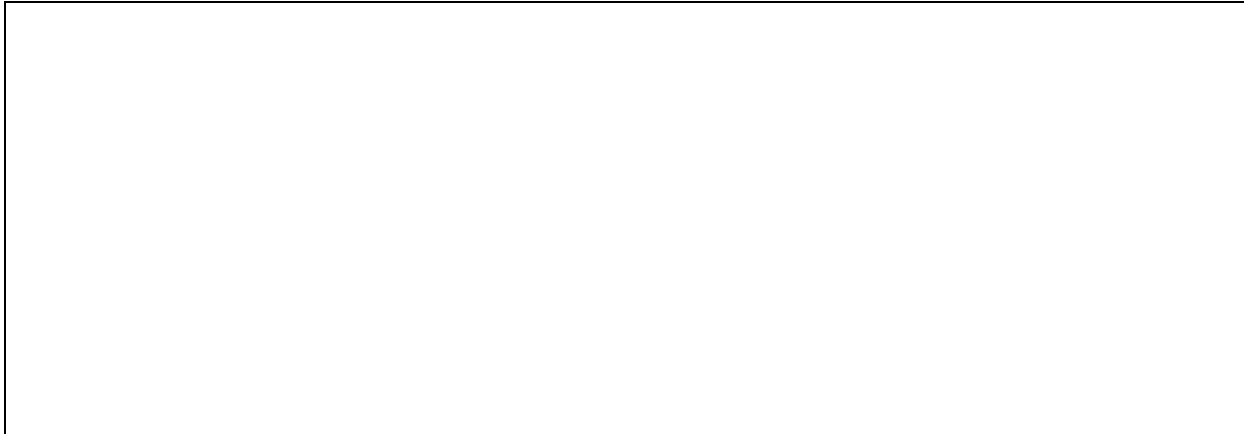


Figure 16 : Zone d'implantation possible des digesteurs et bâches associées à la méthanisation

Les candidats 1 et 2 ont bien pris en compte cet aspect et proposent une station conforme à la réglementation. Le Candidat 3 n'a pas tenu compte de l'arrêté, pensant que la station n'était pas concernée par la réglementation ICPE. La rubrique 2781 concerne les « installations de méthanisation de déchets non dangereux ou de matière végétale brute, à l'exclusion des installations de méthanisation d'eaux usées ou de boues d'épuration urbaines lorsqu'elles sont méthanisées sur leur site de production ».

Etant donné que la station reçoit des boues de sites externes, celle-ci rentre automatiquement dans le champ d'application de l'arrêté. Cette erreur est particulièrement préjudiciable au Candidat 3, qui rend sa proposition non conforme aux objectifs du MOA. Une question a été posée sur ce point.

L'arrêté du 10 novembre 2009 impose également aux installations soumises à la rubrique 2781 de prévoir un dispositif de rétention de volume au moins égal à celui du digesteur. Conformément à cette prescription, le Candidat 1 propose une rétention de 1600 m<sup>3</sup> permettant de contenir la totalité du digestat en cas de fuite. Le Candidat 2 propose un système de drainage. Cette solution est autorisée par l'arrêté uniquement dans le cas où l'étude d'impact démontrait l'impossibilité technique de mettre en œuvre un volume de rétention.

A ce stade du projet, la proposition du Candidat 2 n'est pas jugée satisfaisante et a fait l'objet d'une demande de clarification. Le Candidat 3 n'a pas pris en compte cet aspect de la réglementation, ce qui a également fait l'objet d'une question.

En termes d'ergonomie, la disposition des ouvrages dans l'espace doit tendre à faciliter le travail de l'exploitant et permettre aux véhicules de circuler aisément durant les phases d'approvisionnement et de collecte. Sur ce point, l'analyse des vues en plan n'a pas révélé de défaut particulier.

## 7.8. Continuité de service

Selon les termes du marché, la réalisation des travaux ne doit pas empêcher la station d'assurer sa fonction de traitement. Ce point est particulièrement important pour le

MOA vis-à-vis des normes de rejet imposées mais également car les locaux administratifs du MOA, situés sur le site, sont destinés à être démolis. Idéalement, la transition des équipes entre le bâtiment existant et le nouveau doit être la moins contraignante possible.

Une note de phasage a été exigée afin de pouvoir juger les chronologies de chantier prévues par les candidats. Dans un objectif de continuité de service, la démolition d'un ouvrage ou d'un bâtiment ne peut être réalisée sans avoir préalablement construit le nouveau. Etant donné le peu de place disponible sur le site, la conservation de bâtiments est donc à privilégier autant que possible. Sur ce point, les trois candidats ont adoptés des choix très différents.

Tableau 47 : Comparatif des conservations/démolitions de l'existant

	Candidat 1	Candidat 2	Candidat 3
Bâtiment boues	Conservé	Démoli	Démoli
Bâtiment prétraitements	Conservé	Conservé	Démoli

Le Candidat 3 a pris le parti de reconstruire à neuf la plupart des ouvrages en place. Le manque d'espace le conduit à proposer un déménagement du MOA en deux fois : dans des locaux temporaires constitués de bungalows puis dans le nouveau bâtiment tertiaire. De plus, le phasage proposé ne permet pas d'assurer la déshydratation par filtre presse en parallèle de la refonte de la filière boues. Une unité de déshydratation mobile sera donc mise en place afin d'assurer la continuité de service ce qui génère un surcoût important. Ces choix sont jugés peu favorables. A l'inverse les autres candidats assurent le déménagement en une étape et une transition sans unités mobiles, ce qui est jugé satisfaisant.

### 7.9. Aspects Génie Civil

L'analyse des mémoires « Génie civil » a été traitée de manière annexe. Elle a entre autres permis de vérifier que les choix effectués en matière de construction étaient conformes aux Eurocodes. Ces documents constituent un ensemble de normes européennes harmonisant les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des différents éléments constituant les bâtiments et ouvrages de génie civil. Dans le cadre de l'analyse, les points ayant fait l'objet d'une attention particulière sont notamment :

- les épaisseurs de voiles
- les enrobages
- les ouvertures de fissures
- les classes de béton (risque de corrosion et classe d'étanchéité notamment)

Seul le Candidat 3 a fait l'objet d'une remarque à cause d'une non-conformité sur l'enrobage des ouvrages de contenance (4 cm au lieu de 5 cm dans cette configuration d'ouvrages).

L'aspect « fondations » est également un point important étant donné la faible profondeur de la nappe et la faible portance des sols. Du fait de la présence de la nappe, les ouvrages subissent une poussée d'Archimède et doivent être stables à vide sans clapets de sous pression, ces dispositifs étant interdits par le fascicule 74 relatif à la construction des réservoirs en béton. Suite à des demandes de précisions, les candidats ont apporté les

réponses attendues. Concernant la portance des sols, l'ensemble des candidats proposent de construire les ouvrages sur pieux, ce qui est jugé satisfaisant.

Pour les candidats 2 et 3, la réalisation du bassin d'orage enterré pose la problématique des travaux en nappe.

Le Candidat 3 détaille peu le mode de réalisation de l'ouvrage, ce qui a fait l'objet d'une question.
---

Le Candidat 2 a pris la mesure des contraintes mises en jeu en proposant un mode de réalisation par pieux sécants, ce qui est jugé positivement.

## **CONCLUSION**

Le travail s'est décomposé en plusieurs étapes. La première étape a consisté à se familiariser avec les objectifs du projet en étudiant les pièces du DCE et en effectuant un travail de recherche bibliographique sur la méthanisation. Dans un second temps, un travail de pré-dimensionnement a permis de dégager les principaux enjeux de ce projet de réhabilitation et d'extension de station d'épuration : l'impact de l'insertion d'une étape de traitement primaire sur la production de biogaz et sur l'abattement de la pollution carbonée, la capacité de traitement de l'azote des volumes existants et enfin l'importance des co-intrants dans l'amélioration du bilan énergétique et économique de la station.

L'analyse comparative des offres a permis de confronter les solutions des différents candidats entre elles. Une attention particulière a été portée sur la fiabilité des filières de traitement, sur le respect de la réglementation et sur la cohérence des bilans énergétiques et économiques au regard aux hypothèses de dimensionnement utilisées (production de boues et co-intrants notamment).

Dans un objectif de sécurisation du projet vis-à-vis du MOA, cette analyse a conduit à deux séries de questions visant à optimiser les offres sur ces aspects. Ces questions ont notamment permis de challenger les candidats sur les hypothèses de charge utilisées et sur les solutions techniques de gestion des retours en tête. Elles ont également permis de fiabiliser des dispositifs d'écrêtage du débit et de chauffage de digesteur, de réclamer des garanties de pérennité d'approvisionnement en co-intrants à long terme, d'identifier des non-conformités décisives par rapport à la réglementation ICPE en termes d'implantation d'ouvrages et de dispositif de rétention ou encore d'inclure dans une offre un engin de maintenance indispensable initialement non chiffré.

Concernant le déroulement du stage, ces 6 mois ont démontré que l'analyse d'offres est un exercice qui nécessite de faire preuve de beaucoup de recul et d'organisation. Une grande importance a donc été attachée dans ce mémoire à détailler la manière d'aborder l'exercice, en explicitant les raisonnements mais aussi parfois les erreurs commises et, bien sûr, les conseils avisés sur lesquels a pu être bâtie la méthode de travail.

Ce stage fut l'opportunité de s'immerger pleinement dans l'activité d'un bureau d'études spécialisé dans le domaine de l'eau. Cette mise en situation professionnelle a permis de consolider les acquis en traitement des eaux usées, de développer de nouvelles aptitudes au contact d'ingénieurs expérimentés mais aussi de se confronter aux réalités du terrain, en prenant part à diverses réunions et visites de chantier.

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s) : **Mastère spécialisé**

Spécialité : **Eau Potable et Assainissement (EPA)**

Auteur : **Mathieu CHALOT**

Année : **2016/2017**

Titre : **Optimisation de propositions constructeurs pour la réhabilitation, l'augmentation de capacité et l'intégration d'une étape de méthanisation et de valorisation du biogaz produit sur une station d'épuration d'environ 40 000 EH**

Nombre de pages :      60 pages (mémoire)      13 annexes (pages)

Nombre de références bibliographiques :

Structure d'accueil : **setec hydratec / Paris / 75**

Maître de stage : **Alexandre Bouvet**

Résumé : **Le MOA est en charge de l'exploitation de la station de traitement des eaux usées de la Ville A. Une réhabilitation et augmentation de capacité (de 25 000 à 42 000 EH) est nécessaire du fait de l'évolution des charges polluantes et de l'ancienneté de l'installation (1994). Le maître d'ouvrage souhaite par ailleurs intégrer au fonctionnement un processus de valorisation énergétique des boues par voie de méthanisation.**

**Sur ce projet, setec hydratec possède le rôle d'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) et a finalisé le dossier de consultation des entreprises. Le stage consiste à analyser les retours des constructeurs afin d'orienter le MOA vers les solutions les plus adaptées.**

Mots-clés : **STEP, épuration, traitement des eaux usées, réhabilitation, augmentation de capacité, traitement primaire, traitement tertiaire, digestion anaérobie, méthanisation, co-méthanisation, co-intrants, biogaz, valorisation énergétique, injection réseau, cogénération, retours en tête, analyse d'offre, méthodologie, bureau d'études, marché global de performance, optimisation, audition, négociation**



# ANNEXES

Mastère EPA 2016/2017

Analyse et optimisation de propositions constructeurs pour la  
réhabilitation, l'augmentation de capacité et l'intégration d'une étape  
de méthanisation et de valorisation du biogaz produit  
sur une station d'épuration d'environ 40 000 EH

Ingénieur-stagiaire : Mathieu CHALOT  
Maître de stage : Alexandre BOUVET  
Référent Ecole : Julien LAURENT

Date de soutenance : 14/11/2017

setec hydratec  
42-52 Quai de la Rapée  
Bâtiment Central Seine  
75012 Paris

# ANNEXE 1 : EXTRAIT DE LA GRILLE D'ANALYSE (CAHIER DE PERFORMANCES)

Méthanolisation		Hypothèses DCE / unités		Restructuration en conception, réalisation et exploitation sur performances Baluze-Ducloux : Tableau d'analyse des offres - version provisoire					
Traitement des eaux et des boues - Mandataire				CANDIDAT 1		CANDIDAT 2		CANDIDAT 3	
	Offre	Base	Variante	Base	Variante	Base	Variante	Base	Variante
	Conc. Boues digérées	g/l	40		41		32.2		32.2
	Temps séjour moyen	jour	20 (minimum)		12		17.4		17.4
	Taux réduction boues	%	(avec co-traités) 0		33%		32.80%		32.80%
	Production de biogaz	litres / kg NV élim.	0.35 (avec co-traités)		0.86 (hors glycérine)		0.95 Nm3/kg NV éliminé		0.95 Nm3/kg NV éliminé
		litres / kg NV entr.	(avec co-traités) 0.35		0.23 (hors glycérine)		0.31 Nm3/kg MS entrant en méth.		0.31 Nm3/kg MS entrant en méth.
		litres / ton	855 504 (100%) (avec co-traités)		505 000 (hors glycérine) 702 000 (avec glycérine "cocktail")		658 313 (100%)		658 313 (100%)
	Teneur CH4 biogaz	%	80.8% (volume) (hors gaz dissous) 33.40% (volume)		87% (hors glycérine) 87% (hors glycérine) 85% (hors glycérine)		65% (hors glycérine) 30% (hors glycérine)		65% (hors glycérine) 30% (hors glycérine)
	Teneur CO2 biogaz	%	19.2% (volume) 66.60% (volume) 66.60% (volume)		13% (hors glycérine) 12% (hors glycérine) 13% (hors glycérine)		35% (hors glycérine) 70% (hors glycérine)		35% (hors glycérine) 70% (hors glycérine)
	Teneur autres gaz	%	0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume) 0.0% (volume)		0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine)		0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine)		0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine) 0.0% (hors glycérine)
	PC biogaz	litres / Min*	6		6		6		6
	PCS biogaz	litres / Min*	6		6		6		6
	Teneur ammoniac NH3	mg / Min*	65%		65%		65%		65%
	Rend. Biogaz catalisé	%	96%		96%		96%		96%
	Fraction biogaz torréfié	%	2%		0%		0%		4%
	Capacité séchage	litres / thermiques	2 x 7		2 x 7		2 x 7		2 x 7
	Point de rosée	mg CO2 / Min biogaz méthanisé	(partagé avec les besoins de l'épurateur)		6790		6790		6790
	Capacité de trait. HCS	litres / Min	100 (pour une concentration max de 500 ppm capacité max (litres CA))		100		40		70
	Qualité biogaz torréfié	litres / Min*	20		124		124		5
	Bières soufflées	litres / Min*	20		non fourni		non fourni		non fourni
	Siccité rejets soufflés	%	non fourni		non fourni		non fourni		non fourni
	Qualité du biométhane	conformité	conforme garantie sur rejets gazeux (0.8% CH4 avec la molécule, sans traitement spécifique avant rejet à l'atmosph.)		conforme		conforme		conforme

ANNEXE 2 : EXTRAIT DE LA GILLE D'ANALYSE (ANALYSE PROCESS)

Méthéanisation		Traitement des eaux et des boues - Mandataire		Restructuration en conception, réalisation et exploitation sur performances			
		Dfite		CANDIDAT 1		CANDIDAT 2	
Hypothèses DCE / unités		Base	Variante	Base	Variante	Base	Variante
Mécanisation	Plassage	Lancement des travaux avant autorisation IPE 2791-2		Non précisé, à priori lancement des travaux après autorisation IPE		Lancement des travaux après autorisation IPE	
	Analyse IPE ATEX	Satisfaisante à ce stade		Point de vigilance : distance aeri de moins de 35 m		Absence de rétention + distance inf. à 35 m / Satisfaisant Points bloquants / rapporteur de produits ent.	
Prétraitements / stockage avant digestion	Blanche d'homogénéisation	Dui (sauf co-triments) / Justifier ce choix				Dui	
	Volume	50		11-07		115	
	Autonomie en heures (50-100%)					11 (horizon 2030)	
	Remarque dimensionnement			Boues primaires : semaine max Boues secondaires : mois max Chaires : semaine max Sédiments : moyenne ?			
	Type prétraitements	Hydrolyse des graisses internes Broyeur-dilateur amont injection				Tamisage boues homogénéisées (Shunpress) by-passable	
	Type	Digesteur vertical procédés Digest Simollet (voile métallique)				Digesteur vertical circulaire béton	
	Volume digesteur	1600 m <sup>3</sup>		Réponse : 1016 m <sup>3</sup>		2116 m <sup>3</sup>	
	Dispositif de rétention (art.42)	Dui : cuve 1600 m <sup>3</sup>		Dui : dispositif de drainage (inculcitant à ce stade)		Pas de co-triments	
	Injection des entrants	Directement dans le réacteur		En ligne sur recirculation du digestat		Mélangeur en ligne sur recirculation du digestat / vers échangeur	
	Fonctionnement continu	Dui		Dui		Dui	
Agitation	Matériel	Mécanique (horizontal) + 1 pompe en complément				Béton	
	Type	Non détaillé		Inox 316L (paires immergées et émergées)		Mécanique (sauf)	
	Matériel	18.5 + 18.5 (agitateur + pompe)		11 à confirmer		Inox 316L	
	Puissance	600		Réponse : Confirmé, mode d'agitation moins énergivore que technologies classiques		7.5 (installée)	
	Vitesse de rotation (tour/minute)	Non confirmé		1480		1500	
	Valeur de fréquence	Non		Congénération		Dui	
	Autoconsommation	Dui		Dui + cogénération + air chaud surpresseurs		Non (possible sur chaudière en cas de problème avec la PAC) Dui + chaudière 300 kW en secours avec brûleur biogaz (thermophile DK)	
	Echangeur sur recirculation	Dui				Dui	
	Type échangeur eau/boues	Voir Eau/traitées		Voir Eau/traitées		Voir Eau/traitées	
	Puissance échangeur	Voir Eau/traitées		Voir Eau/traitées		Voir Eau/traitées	
Production et stockage de biogaz	Evolution mésothermo	1+0 (colima indique t+1)		Voir Eau/traitées		Voir Eau/traitées	
	Nombre de pompes de recirculation	Dui		1+1		1+1	
	Extraction depuis digesteur	Dui		Dui		Dui	
	Vers échangeur eau/boues	Dui		Dui		Dui	
	Débit de recirculation (m <sup>3</sup> /h)	200-300		64		<36	
	Valeur de fréquence	Réponse : courbe de performance fournie					
	Volume injecté (m <sup>3</sup> /jour)	Non (continu)				Dui	
	Stoères mélanges	82-87 (co-triments inclus)		82-84 (insoluble - semihol max) (BFBEB)		85-82	
	MS injectés (kg MS/jour)	76-78		Réponse : 82		Réponse : 4.5 + 4.8	
	MS injectés (kg MS/jour)	3037-5026		Réponse : 2316-3382 (moyenne - cocktail)		Réponse : 45-52 (kg)	
Hypothèses dimensionnement 50-100% (sauf précision)	MS injectés (kg MS/jour)	218 (100% : thermophile)		27 (100% : mésotherme)		32 (mésotherme)	
	Temps de séjour (jours)	1.9 - 3.1 (calcul)		15 - 12 (thermophile)		0.9 - 1.8	
	Charge organique (kg MS/m <sup>3</sup> /jour)	67-67%		63-62%		50-50%	
	Fermeture PV	1932-2067		2334-3214		1963-3526	
	MS sortie (kg MS/jour)	82% (calcul)		46% (calcul)		32% (calcul)	
	Abattement MS	40		41		30-32	
	Concentration boues digérées (g/l)						
	Type	Membrane souple à voile métallique		SpHérique à double membrane		SpHérique à double membrane	
	Volume (m <sup>3</sup> )	300		Réponse : 270		540	
	Autonomie en heures (50-100%)	5-3.1 (éponge ?)		4.6 - 3.4 (moyenne - cocktail max)		14.3 - 7.1 (mesophile)	
Gazomètre	Matériel	Cylindre : acier galvanisé avec revêtement interne Tok : acier inox		Membrane : polyester spécialement renforcé (longéode, UV...)		Membranes : polyester et PVC	
		Membrane : non détaillé					
	Débit tocère (Nm <sup>3</sup> /h)	215 (maximum 300)		80		75.2	

**DOSSIER TECHNIQUE**

**PROCESS (PR)**

**Bassin d'orage/Poste de relèvement**

- PR 1 : Préciser si les alimentations du poste de refoulement et du bassin d'orage sont munies de chutes accompagnées et justifier.
- PR 2 : L'absence de couverture du bassin d'orage est une dérogation au DCE. Prévoir une couverture de l'ouvrage et une solution de désodorisation.
- PR 3 : Préciser les modes d'accès et de curage du bassin d'orage.

**Filière eau**

- PR 4 : La conduite d'arrivée des eaux brutes venant de l'Est présente un angle supérieur à 90° pour rejoindre le poste de relèvement. Justifier votre choix ou revoir la disposition de cette conduite.
- PR 5 : Le trop-plein ultime situé au niveau du dégrillage grossier (débits supérieurs à 500 m<sup>3</sup>/h) ne peut pas être rejeté dans le bras mort. Proposer une solution vers la Rivière.
- PR 6 : Confirmer que chaque fosse à matières de vidange est équipée d'une pompe immergée et d'un secours installé (4 au total sur les deux fosses).
- PR 7 : Indiquer la vitesse maximale attendue au niveau de l'entrefer du dégrillage grossier (10 mm).
- PR 8 : Justifier l'absence d'une grille de secours sur le by-pass du dégrillage grossier.
- PR 9 : Indiquer l'autonomie de stockage des refus issus du dégrillage grossier.
- PR 10 : Confirmer qu'un calorifugeage est prévu sur l'ensemble de l'étape de dégrillage grossier (et pas uniquement sur le compactage). Idem pour le dégrillage fin.
- PR 11 : Justifier votre choix d'écrêter le débit entrant dans la file biologique à l'aide d'une vanne guillotine motorisée en lieu et place d'une surverse compte tenu des risques d'avarie au niveau de la vanne et du débitmètre associé. Proposer une sécurisation du système ou revoir la solution technique proposée.
- PR 12 : Justifier l'absence de pompe de secours pour la reprise des graisses issues du dégraisseur ou compléter.
- PR 13 : Détailler les coûts d'exploitation liés à l'étape de traitement primaire.

- PR 14 : Dans la note de dimensionnement, le débit journalier d'entrée est de 5690 m<sup>3</sup>/jour à charge nominale. Justifier ce choix.
- PR 15 : Dans la note de dimensionnement, le flux de DBO<sub>5</sub> entrant dans la file biologique est de 1658 kg/jour à charge nominale. Pourtant, le flux pris en compte pour le calcul des besoins en O<sub>2</sub> est de 1636 kg/jour. Justifier cet écart.
- PR 16 : Dans la note de dimensionnement, l'âge de boues à 50% de la charge est de 8 jours. Confirmer l'absence de contraintes et risques induits en exploitation.
- PR 17 : Justifier l'installation d'une file unique pour le traitement tertiaire, notamment vis à vis des opérations d'entretien et/ou de maintenance.
- PR 18 : Indiquer la surface de filtration immergée de votre système de traitement tertiaire par filtres à disques. Préciser la vitesse de filtration.
- PR 19 : Indiquer la puissance de réchauffage (en kW) de votre pompe à chaleur ainsi que la surface d'échange (en m<sup>2</sup>).
- PR 20 : Fournir un bilan des flux hydrauliques sur le fonctionnement du poste toutes eaux.
- PR 21 : Confirmer que le procédé de traitement spécifique des concentrats de déshydratation prévu dans votre offre fonctionne à basse température (10-20°C).
- PR 22 : Fournir une note de calcul pour le dimensionnement du réacteur de traitement spécifique des concentrats de déshydratation (125 m<sup>3</sup>).
- PR 23 : Préciser le volume de la bêche de reprise des concentrats. Justifier l'intérêt de cette bêche sachant qu'une bêche tampon est prévue en amont du réacteur Phosphogreen.
- PR 24 : Confirmer que les prélèvements et analyses réglementaires de suivi du milieu récepteur sont inclus dans votre offre.

### **Filière boues**

- PR 25 : Fournir le détail du calcul de la production de boues.
- PR 26 : Transfert des boues déshydratées : confirmer la présence d'un anneau de lubrification. En cas d'incident sur l'alimentation des casiers, préciser quels peuvent être les impacts et comment les éviter.
- PR 27 : Indiquer l'autonomie de stockage de la bêche à boues externes.
- PR 28 : Justifier l'absence de pompe de secours pour la reprise des co-intrants, pour l'alimentation en boues du pulpeur ou compléter.

- PR 29 : Justifier le choix d'introduire les co-intrants directement dans le digesteur.
- PR 30 : Confirmer que la puissance de l'agitation du digesteur est de 18.5 kW pour l'agitateur et de 18.5 kW pour la pompe, que la vitesse de rotation maximale de l'agitateur est de 600 tours/minute et que ce dispositif n'est pas équipé d'un variateur de vitesse. Justifier ce dimensionnement.
- PR 31 : Justifier le dimensionnement de la pompe de recirculation du digestat (200-300 m<sup>3</sup>/h).
- PR 32 : Dans le fichier de description des équipements, une seule pompe de recirculation est indiquée pour la recirculation sur la boucle de chauffage du digesteur (D.9.1). Sur le synoptique de traitement des boues, 2 pompes à lobes sont présentes. Clarifier.
- PR 33 : Préciser le débit maximum admissible sur l'unité de filtration membranaire du biogaz.
- PR 34 : Chiffrer en option le chariot élévateur à fourche basculante cité dans votre mémoire (p. 86/187) pour l'alimentation de la trémie du pulpeur en déchets de pain ou, si possible, proposer des solutions permettant de s'affranchir de cet engin de manutention.
- PR 35 : Fournir des garanties de pérennité pour la filière co-intrants, en prix et en capacité d'approvisionnement, sur 15 ans
- PR 36 : Détailler le mode de vidange des bennes sous pression prévues dans votre offre et préciser leur durée de garantie.
- PR 37 : Détailler le mode de gestion des boues externes et apports extérieurs prévu pendant la phase travaux.

### **Généralités**

- PR 38 : Une autonomie de 24 heures est attendue sur le groupe électrogène à charge nominale. A revoir..
- PR 39 : Exploitation : Intégrer impérativement le coût de location du poste de réinjection du biométhane dans le bilan d'exploitation.

## **ANNEXE 4 :       EXTRAIT DES QUESTIONS POSEES AU CANDIDAT 2**

### **DOSSIER TECHNIQUE**

#### **PROCESS (PR)**

##### **Bassin d'orage/Poste de relèvement**

- PR 1 :   Détailler les moyens d'accès au bassin d'orage.
- PR 2 :   Préciser si les alimentations du poste de refoulement et du bassin d'orage sont munies de chutes accompagnées et justifier.
- PR 3 :   Indiquer le nivellement du trop-plein du bassin d'orage. A mettre en lien avec le niveau des plus hautes eaux considéré (63.50 m NGF). Préciser si la canalisation de trop-plein est équipée d'une vanne d'isolement murale.

##### **Filière eau**

- PR 4 :   Confirmer que les deux fosses de réception des matières de vidanges existantes sont conservées et que ces matières sont toujours reprises vers le poste de relèvement existant. Confirmer qu'un stockage est prévu pour les refus du dégrilleur installé sur la conduite de dépotage et préciser son volume.
- PR 5 :   Préciser l'entrefer du dégrilleur de réception des matières de vidange et les matériaux constituant l'équipement.
- PR 6 :   Indiquer la vitesse maximale attendue au niveau de l'entrefer du dégrillage grossier (10 mm).
- PR 7 :   Le programme fonctionnel détaillé indiquait une autonomie de stockage des refus de 7 jours minimum sur le dégrillage grossier. Justifier le choix de 2 containers de 240 litres permettant une autonomie limitée à 5.5 jours.
- PR 8 :   Préciser si une grille de secours est installée sur le by-pass des tamis rotatifs (2 mm).
- PR 9 :   Indiquer la capacité de la benne de stockage des sables issus du déssableur. Préciser l'autonomie attendue.
- PR 10 :   Justifier l'absence d'agitateur dans la cuve de stockage des graisses internes.
- PR 11 :   Les rendements d'élimination des différents paramètres (MES, DBO5, etc.) par la décantation primaire sont quasiment fixes quel que soit le pourcentage de charge nominale utilisé. Justifier.
- PR 12 :   Détailler le fonctionnement et les caractéristiques des décanteurs lamellaires prévus dans votre offre.

- PR 13 : Détailler la méthode de détermination du jour, de la semaine et du mois maximal.
- PR 14 : Fournir une note de dimensionnement (toutes filières confondues) sous la forme d'un seul fichier.
- PR 15 : Préciser la réserve de capacité en débit sur les rampes d'aération. Confirmer que les rampes ne sont pas en limite de capacité pour le débit nominal des nouveaux surpresseurs des bassins d'aération.
- PR 16 : Indiquer la surface de filtration immergée de votre système de traitement tertiaire par filtres à disques. Préciser la vitesse de filtration.
- PR 17 : Indiquer clairement le contenu de votre offre concernant le relevage des eaux traitées (vers Rivière, vers ZRV).
- PR 18 : Indiquer si la pompe à chaleur prévue dans votre offre permet de couvrir les besoins thermiques du digesteur en régime thermophile.
- PR 19 : Préciser le volume de la bache de reprise des concentrats.
- PR 20 : Votre offre ne fait pas mention d'un traitement spécifique des concentrats issus de l'étape de déshydratation des digestats. Justifier ce choix et détailler les débits de ces retours et les flux associés (MES, N-NH<sub>4</sub>, DCO, DBO<sub>5</sub>, P-PO<sub>4</sub> en kg/jour et mg/l) pour les différents taux de charge. Préciser si ces flux ont été considérés dans le dimensionnement du traitement biologique (aération, production de boues etc.). A inclure le cas échéant.
- PR 21 : Préciser la maille du filtre auto-nettoyant sur l'eau industrielle.
- PR 22 : Calage hydraulique : le niveau de rejet en sortie du canal de comptage des eaux traitées est de 62.70 m NGF (plan MOF 210). Le niveau des plus hautes eaux considéré étant 63.50 m NGF, justifier l'absence d'un pompage de reprise des eaux traitées vers la Rivière (hors tranche conditionnelle).
- PR 23 : Confirmer que les prélèvements et analyses réglementaires de suivi du milieu récepteur sont inclus dans votre offre.

### **Filière boues**

- PR 24 : Indiquer le volume de la bache à boues externes et préciser son autonomie.
- PR 25 : Transfert des boues déshydratées : confirmer la présence d'un anneau de lubrification ou système équivalent. En cas d'incident sur l'alimentation des casiers, préciser quels peuvent être les impacts et comment les éviter.
- PR 26 : Préciser si l'alimentation de l'épaississeur hersé est effectuée de manière continue ou non. Dans le second cas, préciser la fréquence d'alimentation (en jours/semaine) et la durée d'alimentation en (heures/jour).



- PR 27 : Dans la section 2.2.2 du mémoire « file boues », la quantité de boues biologiques à extraire est de 897 kg MS/jour. Dans le même mémoire, la production de boues biologiques est de 987 kg MS/jour dans la section 4.3.1. Clarifier.
- PR 28 : Fournir le détail du calcul de la production de boues.
- PR 29 : Justifier l'âge de boues de 19 jours pour toutes les situations (moyenne, mois max, jour max).
- PR 30 : Dans le mémoire « file eau », justifier l'écart entre la masse de boues produites dans le bassin biologique et la masse de boues à extraire (page 35).
- PR 31 : Indiquer le volume de la bâche à boues épaissies en sortie de l'étape d'épaississement des boues secondaires par tables d'égouttage.
- PR 32 : Détailler l'étape d'épaississement des boues externes. Indiquer notamment si celles-ci sont mélangées en ligne avec les boues secondaires ou traitées séparément. Préciser la fréquence de fonctionnement de la reprise de ces boues externes (en jours/semaine) ainsi que la durée d'alimentation des tables d'égouttage (en heures/jour).
- PR 33 : Dans le mémoire « file boues », le volume du digesteur est de 3200 m<sup>3</sup> dans le corps du texte. Pourtant, le tableau de dimensionnement (5.4) indique un volume de 1018 m<sup>3</sup>. Clarifier et préciser le régime de dimensionnement (mésophile/thermophile).
- PR 34 : Détailler le dispositif de drainage prévu au niveau du digesteur ainsi que la stratégie de surveillance des eaux souterraines.
- PR 35 : En application de l'arrêté du 10 novembre 2009, ce dispositif de drainage peut se substituer à une cuvette de rétention uniquement dans le cas où l'étude d'impact diagnostiquait l'impossibilité de mettre en place un tel volume pour un digesteur enterré. Cette étude n'ayant pas encore été menée et le digesteur n'étant que très partiellement enterré, justifier le choix d'un tel dispositif et chiffrer le surcoût lié à la construction d'une cuvette de rétention.
- PR 36 : Dans le mémoire « file boues », il est indiqué que la glycérine est injectée sur la conduite de recirculation des boues digérées à l'aval de l'échangeur. Dans le plan « MOF 104 – Digestion », l'injection est effectuée en amont. Clarifier et justifier ce choix.
- PR 37 : Confirmer que la puissance de l'agitateur immergé dans le digesteur est de 1.1 kW. Justifier ce dimensionnement.
- PR 38 : Préciser la siccité du mélange entrant en digestion.

- PR 39 : Dans le mémoire « file boues », deux volumes sont indiqués pour le gazomètre : 300 m<sup>3</sup> dans le corps du texte et 270 m<sup>3</sup> dans le tableau de dimensionnement (p.33/48). Clarifier.
- PR 40 : Préciser le taux de MV du mélange entrant en digestion. Détailler vos calculs par type d'intrant (boues, graisses, co-intrant etc.) sous la forme d'un tableau.
- PR 41 : Confirmer qu'ayant fait le choix de la co-génération, aucun type de traitement n'est envisagé pour le biogaz produit (séchage inclus) en dehors du dispositif « Gas Top ». A mettre en lien avec les garanties non fournies pour le prétraitement du biogaz (Cahier des Garanties Souscrites).
- PR 42 : Votre offre fait mention d'une seule unité de cogénération fournie (cf. mémoire énergie p. 4/44). Justifier ce choix sachant que votre offre doit être dimensionnée pour pouvoir répondre aux besoins futurs (100% de charge) dès la livraison de la station.
- PR 43 : Détailler le calcul permettant d'affirmer que le volume de la bache à boues digérées est adapté à la déshydratation 3 jours sur 7. Préciser les hypothèses.
- PR 44 : Electricité : confirmer que des automates redondants sont inclus dans votre offre
- PR 45 : Bilan d'exploitation : La pompe à chaleur est à inclure dans le cadre de décomposition des coûts d'entretien et de maintenance.
- PR 46 : Fournir des garanties de pérennité pour la filière co-intrants, en prix et en capacité d'approvisionnement, sur 15 ans
- PR 47 : Détailler le mode de gestion des boues externes et apports extérieurs prévu pendant la phase travaux.
- PR 48 : Confirmer qu'un séparateur à hydrocarbures est prévu sur la canalisation de rejet des eaux pluviales.
- PR 49 : Le projet prévoit 225m<sup>3</sup> de stockage des EP en bassin bétonné. Justifier du respect des préconisations du sage et de la priorité donnée aux techniques alternatives de gestion des EP.

### **Généralités**

- PR 50 : Préciser l'autonomie du groupe électrogène à charge nominale. Une autonomie de 24h minimum est attendue.
- PR 51 : Le groupe électrogène proposé dans votre offre fonctionne au diesel, ce qui constitue une dérogation au DCE. Justifier ce choix.

## **ANNEXE 5 :      EXTRAIT DES QUESTIONS POSEES AU CANDIDAT 3**

### **PROCESS (PR)**

#### **Bassin d'orage/Poste de relèvement**

- PR 1 :    Détailler les moyens d'accès au bassin d'orage.
- PR 2 :    Préciser si les alimentations du poste de refoulement et du bassin d'orage sont munies de chutes accompagnées et justifier.

#### **Filière eau**

- PR 3 :    Indiquer l'autonomie de stockage des refus issus du dégrillage grossier.
- PR 4 :    Justifier l'absence d'agitateur dans la cuve de stockage des graisses internes.
- PR 5 :    Les rendements d'élimination des différents paramètres (MES, DBO5, etc.) par la décantation primaire sont fixes quel que soit le pourcentage de charge nominale utilisé. Justifier.
- PR 6 :    Indiquer la surface de filtration immergée de votre système de traitement tertiaire par filtres à disques. Préciser la vitesse de filtration.
- PR 7 :    Indiquer la puissance de réchauffage (en kW) de votre dispositif de pompes à chaleur.
- PR 8 :    Expliciter le sens des termes « situation actuelle » et « situation future » pour le dimensionnement du réacteur Anammox (2.12 du descriptif des équipements) et fournir une note de calcul pour le dimensionnement du réacteur Anammox (480 m3).
- PR 9 :    Fournir un bilan matière sous forme de tableau de l'étape de traitement de l'azote sur les concentrats de déshydratation (flux entrée/sortie en MES, N-NH4, DCO, DBO5, P-PO4 en kg/jour et en mg/l) et justifier le rendement d'abattement de 0% sur les MES.
- PR 10 :   Préciser l'âge des boues dans le réacteur Anammox.
- PR 11 :   Préciser la durée des cycles d'alimentation du réacteur Anammox.
- PR 12 :   Justifier votre choix d'installer 12 pompes à chaleurs à l'aide d'un bilan énergétique.
- PR 13 :   Dans le descriptif des équipements, le débit prévisionnel unitaire des deux pompes installées (dont un secours) pour le refoulement des eaux traitées est de 140 m<sup>3</sup>/h. Confirmer que ce débit est de 280 m<sup>3</sup>/h.
- PR 14 :   Justifier votre choix d'installer la prise d'eau industrielle sur un des clarificateurs et non sur l'eau traitée sortie traitement tertiaire.

PR 15 : Confirmer que les prélèvements et analyses réglementaires de suivi du milieu récepteur sont inclus dans votre offre.

### **Filière boues**

PR 16 : Préciser si l'alimentation de l'épaississeur hersé est effectuée de manière continue ou non. Dans le second cas, préciser la fréquence d'alimentation (en jours/semaine) et la durée d'alimentation en (heures/jour).

PR 17 : Préciser la vitesse ascensionnelle maximale sur l'épaississeur hersé. Détailler le calcul.

PR 18 : Indiquer le volume de la bache d'homogénéisation des boues.

PR 19 : Fournir le détail du calcul de la production de boues primaires et secondaires.

PR 20 : Détailler la fréquence de fonctionnement de l'extraction des boues biologiques vers l'étape d'épaississement par flottation (en jours/semaine) ainsi que la durée (en heures/jour).

PR 21 : L'étape de flottation nécessite d'injecter de l'air dans les boues biologiques extraites. Confirmer l'absence de risques d'inhibition au développement des bactéries mises en jeu lors de l'étape de digestion anaérobie ou revoir la solution technique proposée.

PR 22 : L'incorporation de co-intrants dans le processus de digestion devait être possible à posteriori. Nous rappelons qu'une unité de co-méthanisation est soumise aux prescriptions de l'arrêté du 10 novembre 2009 et qu'à ce titre aucun ajout de co-intrants ne pourrait être envisagé ultérieurement étant donné l'absence de dispositif de rétention au niveau de votre digesteur (article 42).

PR 23 : Préciser la siccité du mélange entrant en digestion.

PR 24 : Préciser le temps de séjour du mélange en digestion pour le régime thermophile.

PR 25 : Détailler le fonctionnement de l'unité de filtration membranaire du biogaz prévue dans votre offre.

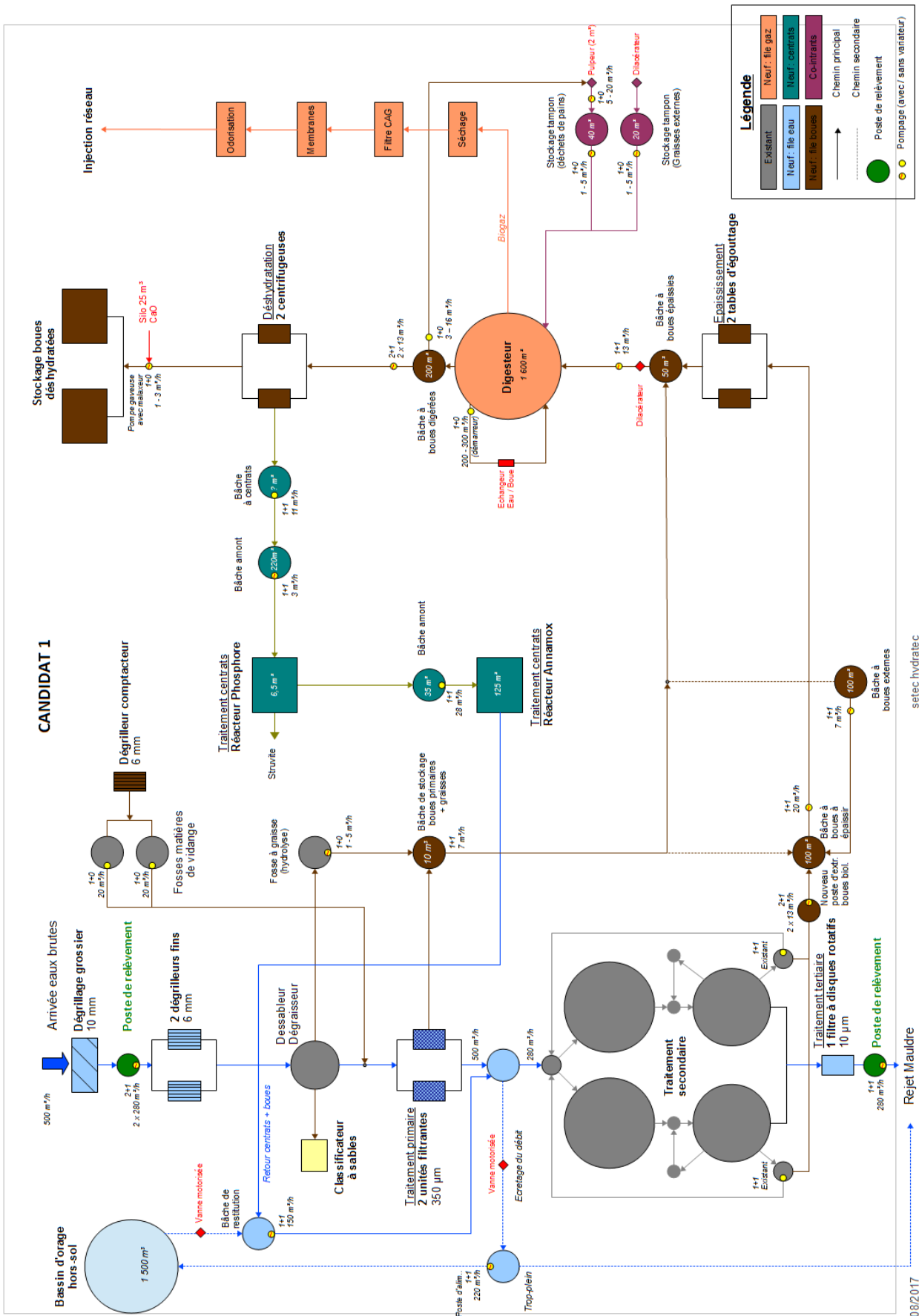
PR 26 : Electricité : confirmer que des automates redondants sont inclus dans votre offre.

### **Généralités**

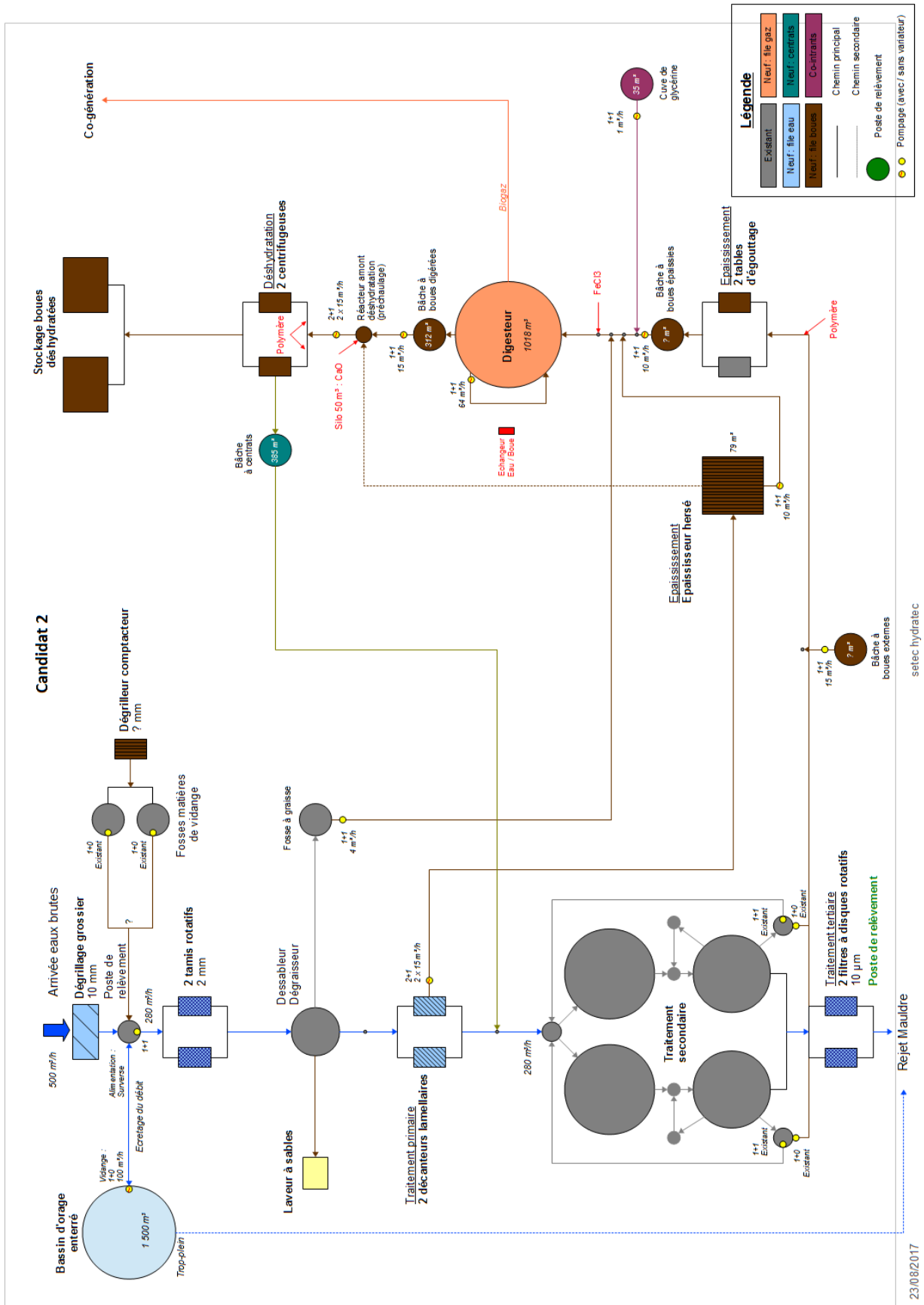
PR 27 : Justifier votre choix d'implantation du gazomètre au Nord du site, notamment en termes de dangerosité, compte tenu de la proximité de la déchetterie et du bâtiment des services techniques communaux.

PR 28 : Le groupe électrogène proposé dans votre offre fonctionne au diesel, ce qui constitue une dérogation au DCE. Justifier ce choix.

# ANNEXE 6 : SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA FILIERE DU CANDIDAT 1

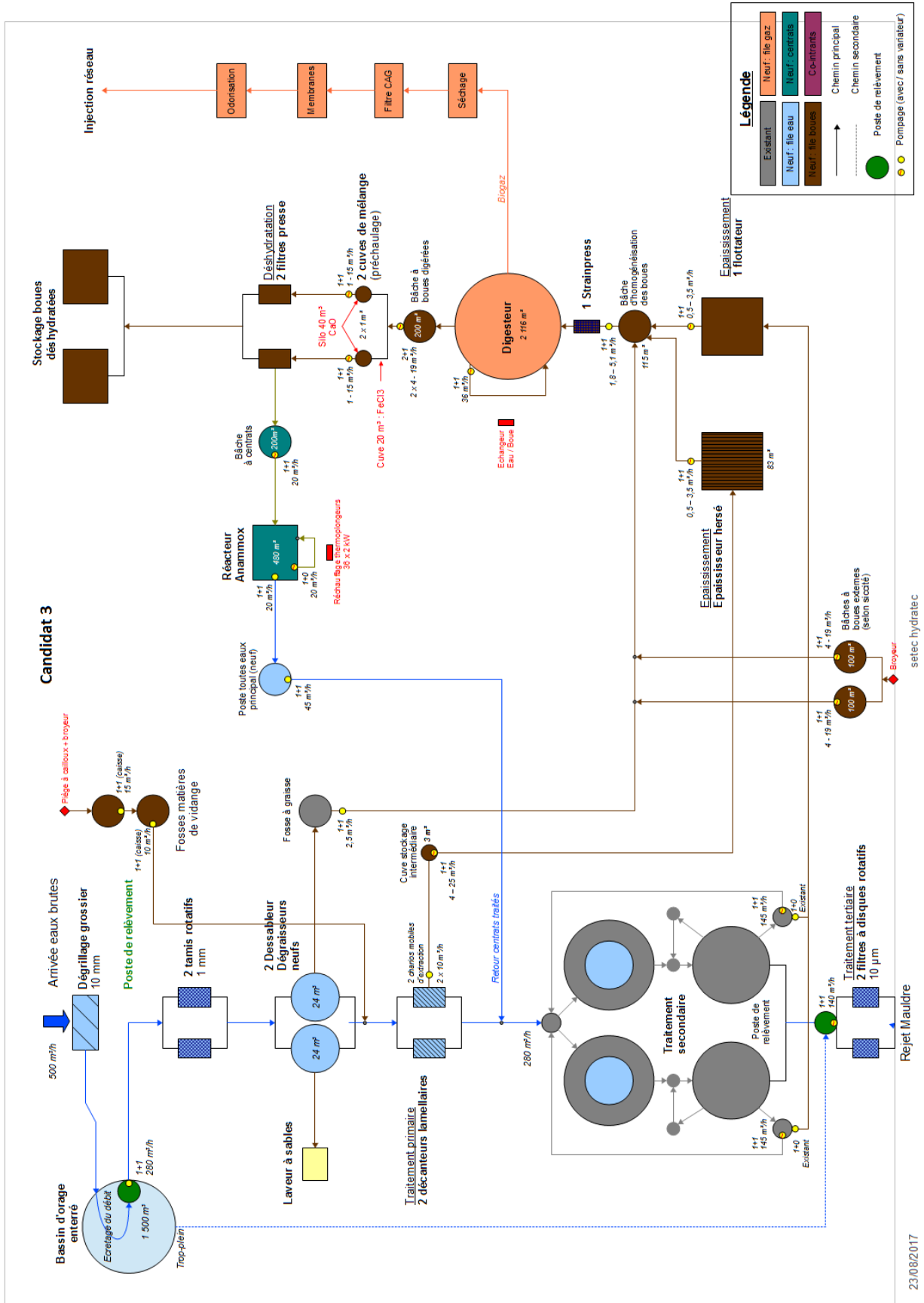


# ANNEXE 7 : SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA FILIERE DU CANDIDAT 2



23/08/2017

# ANNEXE 8 : SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA FILIERE DU CANDIDAT 3



23/08/2017

## ANNEXE 9 : ELEMENTS DESCRIPTIFS DE LA FILIERE EXISTANTE

### Bassin d'orage et poste de relèvement



Les effluents bruts arrivent sur un poste de dérivation équipé d'une pompe d'alimentation du bassin d'orage. Une surverse d'alimentation du bassin d'orage est également située en sortie du dessableur-dégraisseur, toutefois celle-ci ne fonctionne jamais car le tamis rotatif bride le débit à 300 m<sup>3</sup>/h (figure ci-contre).

Ce bassin est un ancien clarificateur de 300 m<sup>3</sup>. Il possède un trop-plein équipé d'un canal de comptage venturi et d'un préleveur. La vidange est effectuée par pompage et les effluents sont ré-injectés en sortie des prétraitements.

Le poste de dérivation est connecté gravitairement au poste de relevage de 30 m<sup>3</sup>, équipé de 4 pompes (dont 1 secours) de 100 m<sup>3</sup>/h.

### Prétraitements

Une fois relevés, les effluents passent à travers un tamis rotatif (2 mm) avant d'être dirigés vers un dessableur-dégraisseur combiné (DDC). Les sables sont extraits par pompage vers un classificateur avant d'être stockés en container. Les graisses raclées sont stockées dans une cuve de 10 m<sup>3</sup>.

Le comptage et prélèvement d'entrée s'effectue en sortie de ces prétraitements.

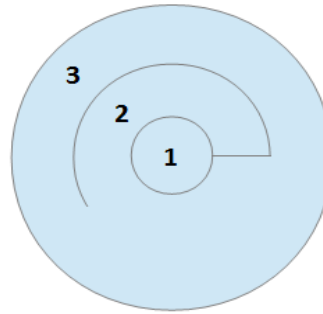


Tamis rotatif et classificateur à sables existant

### Traitement biologique

Le traitement secondaire possède 2 files. Une zone de contact/répartition permet de diviser le flux vers les deux bassins. Ces bassins sont chacun constitué d'une zone anaérobie centrale, d'une zone d'anoxie intermédiaire et d'une zone d'aération. La zone anoxie a la particularité d'être conçue en forme de chenal en demi-cercle :





1 : Zone anaérobie  
 2 : Zone anoxie  
 3 : Zone aérée

Figure 1 : Bassin d'aération de la station

La zone anoxie fonctionne donc en mode piston et le temps de séjour est assuré par le volume du chenal. Les volumes des différentes zones sont récapitulés dans le Tableau 8 suivant :

Tableau 1 : Volumes des zones existantes

Zone	Volume	Rôle dans la filière de traitement biologique
Zone de contact	125 m <sup>3</sup>	Mélange des effluents prétraités avec les boues activées
Anaérobie	2 x 325 m <sup>3</sup>	- Relargage du phosphore
Anoxie	2 x 340 m <sup>3</sup>	- Dénitrification (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> → N <sub>2</sub> )
Aérobie	2 x 2200 m <sup>3</sup>	- Dégradation de la matière organique - Nitrification (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> → NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> → NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) - Sur-assimilation du phosphore
<b>TOTAL</b>	<b>5855 m<sup>3</sup></b>	

La profondeur des bassins biologique est de 5,6 m. Chaque zone possède un agitateur immergé. L'aération des bassins est réalisée à l'aide de 3 surpresseurs centrifuges de débit nominal 2200 Nm<sup>3</sup>/h (dont 1 secours commun). Des « raquettes » disposées en fond d'ouvrage permettent une diffusion fines bulles asservie sur une sonde redox.

### Clarification

Chaque file possède un clarificateur de 19 m de diamètre (260 m<sup>2</sup> au miroir) équipé d'un système de récupération des boues par raclage de fond. La hauteur d'eau est de 2,6 dans chaque ouvrage.

Une étape de dégazage a lieu entre les bassins biologiques et la clarification. Une interconnexion entre les dégazeurs de chaque file permet d'isoler chaque clarificateur sans isoler le bassin d'aération associé.

## Ouvrages annexes

Les caractéristiques des ouvrages annexes sont présentées ci-dessous

:

Tableau 2 : Ouvrages annexes de la file eau

Ouvrage	Nombre	Diamètre	Volume	Pompes
Dégazeur	1 par file	2,2 m	12 m <sup>3</sup>	-
Fosse à flottants	1 par file	2 m	4,7 m <sup>3</sup>	-
Puits de recirculation	1 par file	2,2 m	12 m <sup>3</sup>	2 x (2 x 100 m <sup>3</sup> /h)
Puits d'extraction	1 commun	nc	nc	2 x 40 m <sup>3</sup> /h

## Déphosphatation physico-chimique

Le chlorure ferrique est stocké dans une cuve en PEHD de 25 m<sup>3</sup> disposée dans un bac de rétention en béton. L'injection est réalisée directement dans les bassins d'aération.

## File boues



Table d'égouttage existante

### Epaississement

Les boues extraites du traitement biologique sont épaissies sur une table d'égouttage après conditionnement au polymère. L'équipement possède une charge massique nominale de 250 kg MS/h (+/- 10%) et permet d'atteindre une siccité de l'ordre de 5 à 6%.

Ces boues sont ensuite transférées vers une cuve de 20 m<sup>3</sup> en PEHD dans laquelle sont dépotées les boues externes épaissies.

## Déshydratation

Le conditionnement pour la déshydratation est effectué en 3 phases successives :

- 1 cuve de mélange avec le chlorure ferrique
- 1 cuve de mélange avec la chaux vive
- 1 cuve de maturation



Filtre presse existant

Les réactifs sont stockés dans un silo à chaux et dans une cuve double peau de chlorure ferrique accolés au bâtiment boues. Les boues sont déshydratées par un filtre-presse à plateaux (x80) d'une capacité nominale de 2380 litres puis stockées dans une benne ouverte de 15 m<sup>3</sup>. Environ 4 pressées sont effectuées par jour.

En 2014, 2316 tonnes de boues déshydratées et chaulées ont été évacuées. La siccité atteinte varie entre 22 et 28%, avec une moyenne annuelle de 25%.

### Valorisation

La filière de valorisation des boues est à 100% l'épandage agricole. Des agriculteurs très proches du site rendent la filière pérenne, tant que la qualité des boues est conforme à la réglementation.

### File air

Une unité de désodorisation physico-chimique est située au sein du bâtiment de traitement des boues dans un local dédié. Cette unité n'est plus en fonctionnement depuis plusieurs années étant donné qu'aucune nuisance olfactive n'était constatée. L'air vicié est actuellement extrait du bâtiment boues, du bâtiment prétraitements et des fosses de matières de vidange avant de passer dans les tours de désodorisation sans ajout de réactif.

Une étude olfactive réalisée en 2011 a confirmé l'absence de nuisances liées à la station.

### Qualité des rejets

Les données d'auto-surveillance montrent qu'en 2015, les caractéristiques des eaux traitées n'ont jamais dépassé les valeurs limites fixées par l'arrêté préfectoral. La station fonctionne donc conformément à la réglementation à l'heure actuelle.

## ANNEXE 10 : Points d'amélioration possibles de la station existante

### Process et locaux d'exploitation

Bien que les rejets soient actuellement conformes aux exigences réglementaires, des dépassements de plus en plus fréquents de la capacité nominale théorique de la station sont à prévoir au regard des perspectives d'évolution de la population. Le MOA souhaite donc anticiper en restructurant la filière pour que celle-ci puisse rester efficace jusqu'en 2030. Bien qu'aucun dysfonctionnement majeur ne soit à signaler, plusieurs points d'amélioration ont déjà pu être identifiés sur le fonctionnement actuel de la STEP :

- **Bassin d'orage** : le trop-plein d'alimentation le plus sollicité est situé au niveau du tamis rotatif. Les effluents de vidange du bassin (non prétraités) sont réinjectés dans la filière en aval immédiat du DDC, ce qui explique en partie la présence de sable en quantité importante dans les ouvrages aval. De plus, cet ouvrage ouvert et enterré ne dispose pas de protections périphériques contre les chutes.
- **Dégrilleur des matières de vidange** : l'appareil fonctionne mal, notamment la vis d'extraction des déchets solides. Cette opération est actuellement effectuée à la main, ce qui présente un risque pour l'exploitant en termes d'hygiène et de sécurité.
- **Tamis rotatif (2 mm)** : cet équipement ne possède pas de by-pass intégré et bride le débit à 300 m<sup>3</sup>/h, ce qui ne permet pas de solliciter le trop-plein vers le bassin d'orage situé en sortie du DDC. Le tamis est situé au premier étage du bâtiment prétraitement sans moyen de manutention installé. Son efficacité est mise en doute par le colmatage intempestif de la grille de secours du classificateur à sables situé en aval.
- **Classificateur à sables** : l'équipement est âgé et l'extraction des sables doit être améliorée (sable retrouvé en aval).
- **Prélèvement en aval du DDC** : de par son positionnement dans la filière, ce prélèvement n'est pas systématiquement représentatif de la qualité des effluents apportés par le réseau (injection des matières de vidange et des boues extérieures en amont du préleveur).
- **Local surpresseurs** : la ventilation est insuffisante, ce qui induit des températures élevées l'été. Ceci oblige l'exploitant à ouvrir les portes du local (nuisances sonores supplémentaires).
- **Clarificateurs** : un développement d'algues au niveau de la surverse de l'ouvrage est systématiquement observé malgré un nettoyage régulier des goulottes par des brosses.
- **Filtre-presse** : certaines opérations automatiques comme le lavage haute pression des toiles filtrantes sont en réalité effectuées à la main. L'armoire électrique dédiée est entièrement remplie.
- **Produits chimiques** : les installations ne disposent pas d'aires de dépotage clairement identifiées avec fosses de rétention dédiées. C'est notamment le cas pour le chlorure ferrique. Certains des réseaux chimiques cheminent avec le réseau électrique, ce qui pose un problème de fiabilité des liaisons électriques soumises à des risques de corrosion. Les réseaux sont également mal repérés.
- **Electricité** : la distribution électrique au sein des bâtiments est assurée à partir de tableaux divisionnaires datant de 1993/1997. Des non-conformités ont été observées

en divers points de l'installation (protections manquantes ou inadaptées, affichages ou plans manquants ou incorrects, absence de local TGBT dédié).

- **Génie civil** : le voile de l'atelier de traitement des boues est fissuré en partie haute suite à un choc lors du levage d'une benne.

En dehors de ces aspects, l'état structurel apparent des différents ouvrages est bon. Leur réutilisation est donc envisageable malgré leur âge (environ 20 ans). D'une manière générale, plusieurs locaux techniques sont exigus, ce qui génère des risques pour le personnel exploitant. Les zones de circulation sont contraintes en largeur et parfois en hauteur, parfois par des ouvrages installés au sol sans espace de travail périphérique (pompes de gavage). Certaines zones libres sont utilisées pour le stockage de matériel. L'ergonomie générale de la station doit donc être améliorée.

### Bâtiment tertiaire

Le site accueille les bureaux du MOA ainsi que le personnel administratif et technique (actuellement une quinzaine de personnes). Les bâtiments ne sont plus adaptés aux nouvelles contraintes en matière de sécurité et d'énergie, à la spécialisation du personnel, à la politique de gestion patrimoniale des réseaux et des unités de dépollution.

En parallèle de la réhabilitation du process, le MOA a donc souhaité intégrer dans le marché la construction d'un nouveau bâtiment administratif. La réalisation des pièces du DCE et l'analyse des offres relatives à cet aspect a été confiée à *setec bâtiment*. Cette partie ne sera pas considérée dans ce mémoire mais constitue également un enjeu important pour le MOA.

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

### Note de pré-dimensionnement

	Unités	20.00%	50.00%	75.00%	100.00%
<b>A – Données de base</b>					
<u>Entrée de STEP</u>					
<i>Débits journaliers (percentiles 95 en situation future) :</i>					
Q pointe journalier	m <sup>3</sup> /j	1344	3360	5040	6720
Q référence journalier	m <sup>3</sup> /j	1056	2640	3960	5280
Q moyen de temps sec journalier	m <sup>3</sup> /j	711	1778	2667	3556
<u>Débits horaires</u>					
Q pointe horaire	m <sup>3</sup> /h	56	140	210	280
Q référence horaire	m <sup>3</sup> /h	44	110	165	220
Q moyen de temps sec horaire	m <sup>3</sup> /h	30	74	111	148
<u>Flux (percentiles 95 en situation future)</u>					
DBO5	kg/jour	504	1260	1890	2520
DCO	kg/jour	1552	3881	5821	7761
MES	kg/jour	1092	2731	4096	5461
NTK	kg/jour	101	253	379	505
PT	kg/jour	34	84	126	168
Equivalents habitants (60 g DBO5/EH/jour)		8400	21000	31500	42000
<u>Concentrations</u>					
DBO5	mg/l	477	477	477	477
DCO	mg/l	1470	1470	1470	1470
MES	mg/l	1034	1034	1034	1034
NTK	mg/l	96	96	96	96
PT	mg/l	32	32	32	32
<u>Rapports caractéristiques des effluents</u>					
DCO/DBO5		3	3	3	3
MES/DBO5		2	2	2	2
DBO5/NTK		5	5	5	5
DCO/PT		46	46	46	46
<u>Niveaux de rejets :</u>					
DBO5	mg/l	15	15	15	15
DCO	mg/l	50	50	50	50
MES	mg/l	20	20	20	20
NTK	mg/l	1.5	1.5	1.5	1.5
PT	mg/l	0.8	0.8	0.8	0.8
NGL	mg/l	5	5	5	5
<b>B – File Eau</b>					
<b>Poste de relèvement</b>					
Débit à relever	m <sup>3</sup> /h	280	280	280	280
Nombre de pompes en fonctionnement (+1 secours)		2	2	2	2
Puissance unitaire	kW	15	15	15	15
Fréquence horaire de marche/arrêt autorisée		6	6	6	6
Volume du poste de relevage	m <sup>3</sup>	5.8	5.8	5.8	5.8
<b>Refus Dégrillage/Tamissage fin</b>					
Nombre (+1 secours)		1	1	1	1
Maille	mm	50	50	1	1
Débit admissible unitaire	m <sup>3</sup> /h	56	140	210	280
Ratio déchets compactés (FNDAE28)	l/EH/an	5	5	5	5
Production annuelle	m <sup>3</sup> /an	42	105	158	210
Volume hebdomadaire des refus à stocker et à évacuer	m <sup>3</sup> /semaine	0.8	2.0	3.0	4.0

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

Volume retenu pour la bennes	m <sup>3</sup>	4	4	4	4
Autonomie de stockage (7 jours minimum)	jours	34.7	13.9	9.2	6.9
Nombre de bennes (dont une pour rotation)		2	2	2	2

### Dessableur – dégraisseur

#### Dimensionnement de l'ouvrage

Nombre de files		1	1	1	1
Vitesse ascensionnelle (CHS) maximum (Memento Suez)	m/h	10	10	10	10
Temps de séjour minimum (Memento Suez)	minutes	15	15	15	15
Surface totale	m <sup>2</sup>	4	11	17	22
Volume total	m <sup>3</sup>	11	28	41	55
Volume par ouvrage	m <sup>3</sup>	11	28	41	55
Surface par ouvrage	m <sup>2</sup>	4	11	17	22
Diamètre par ouvrage	m	2	4	5	5
Hauteur par ouvrage	m	3	3	3	3

#### Production de sables (Memento Suez)

Ratio sables	L sable égoutté/EH/an	12	12	12	12
Volume hebdomadaire de sables à stocker et évacuer	m <sup>3</sup> /semaine	1.9	4.8	7.3	9.7

#### Production de graisses (Memento Suez)

Ratio lipides	g MS/EH/jour	15	15	15	15
Rendement dégraisseur	%	15%	15%	15%	15%
Concentration graisses	g MS/l	70	70	70	70
Taux de matières volatiles	%MVS	90%	90%	90%	90%
Production journalière de graisses internes	kg MS/jour	19	47	71	95
Volume journalier de graisses internes	m <sup>3</sup> /jour	0.3	0.7	1.0	1.4
Production journalière de MVS	kg/MVS/jour	17.0	42.5	63.8	85.1

### Décantation primaire

#### Rendement épuratoires (Memento Suez)

DBO5	%	30%	30%	30%	30%
DCO	%	40%	40%	40%	40%
MES	%	60%	60%	60%	60%
NTK	%	10%	10%	10%	10%
PT	%	15%	15%	15%	15%

#### Retours en tête

Coefficients retours en tête (Solagro, 2001):

Débit retours en tête	%	8%	8%	8%	8%
DBO5	%	18%	18%	18%	18%
DCO	%	18%	18%	18%	18%
MES	%	10%	10%	10%	10%
NTK	%	20%	20%	20%	20%
PT	%	6%	6%	6%	6%

Flux retours en tête :

Débit retours en tête	m <sup>3</sup> /jour	84	211	317	422
DBO5	kg/jour	91	227	340	454
DCO	kg/jour	279	698	1048	1397
MES	kg/jour	109	273	410	546
NTK	kg/jour	20	51	76	101
PT	kg/jour	2	5	8	10

Concentrations retours en tête :

DBO5	mg/l	1074	1074	1074	1074
DCO	mg/l	3307	3307	3307	3307
MES	mg/l	1293	1293	1293	1293
NTK	mg/l	239	239	239	239
PT	mg/l	24	24	24	24

#### Charges amont décantation primaire

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

Retours en tête inclus	oui/non	non	non	non	non
Débit amont décantation primaire	m³/jour	1140	2851	4277	5702
DBO5	kg/jour	504	1260	1890	2520
DCO	kg/jour	1552	3881	5821	7761
MES	kg/jour	1092	2731	4096	5461
NTK	kg/jour	101	253	379	505
PT	kg/jour	34	84	126	168
<b>Charges aval décantation primaire</b>					
Débit aval décantation primaire	m³/jour	1140	2851	4277	5702
DBO5	kg/jour	353	882	1323	1764
DCO	kg/jour	931	2328	3492	4657
MES	kg/jour	437	1092	1638	2184
NTK	kg/jour	91	227	341	455
PT	kg/jour	29	71	107	143
Production de boues primaires journalière	kgMS/jour	655	1638	2457	3277
<b>Dimensionnement de l'ouvrage (Memento Suez)</b>					
Nombre d'ouvrage (+1 secours)		1	1	1	1
Débit par ouvrage		44	110	165	220
Angle d'inclinaison des plaques	°	60	60	60	60
Surface projetée	m² module/m² décanteur	10.8	10.8	10.8	10.8
Vitesse de hazen max	m/h	1	1	1	1
Surface projetée par ouvrage	m²	44	110	165	220
Surface globale par ouvrage	m²	4	10	15	20
Hauteur d'eau	m	4	4	4	4
Volume par ouvrage	m³	16	41	61	81
Vitesse au miroir	m/h	2.2	5.4	8.1	10.8
Temps de séjour par ouvrage	minutes	111	44	30	22
<b>Bassins biologiques</b>					
N-NTK en entrée	kg/jour	91	227	341	455
N-NTK assimilé dans les boues (FNDAE25)	%DBO5	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
N-NTK assimilé dans les boues	kg/jour	24	61	92	122
N-NTK en sortie	kg/jour	1.6	4.0	5.9	7.9
N-NTK à nitrifier	kg/jour	65	162	243	325
<b>Production de boues biologiques</b>					
<i>Méthode 1 : Taux</i>					
Taux de production	%DBO5	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%
Production de boues biologiques en excès (1)	kg/jour	282	706	1058	1411
<i>Méthode 2 : Duchesne</i>					
Production de boues biologiques en excès (2)	kg/jour	332	829	1244	1658
<i>Méthode 3 : Sadowski</i>					
Fraction de matières volatiles dans les boues biologiques	%	65.00%	65.00%	65.00%	65.00%
Smin (partie non biodégradable des MVS)	kg/jour	57	142	213	284
Sdur (partie minérale des MVS)	kg/jour	153	382	573	765
K nitrification	kg nitrifiantes/kg N nitrifié	0.17	0.17	0.17	0.17
Production de boues biologiques en excès (3)	kg/jour	443	1108	1661	2215
<i>Moyenne des méthodes</i>					
Production de boues biologiques en excès	kg/jour	352	881	1321	1762
<b>Production de boues physico-chimique</b>					
P entrée	kg/jour	29	71	107	143
Rendement déphosphatation biologique (FNDAE 29a)	%	30%	30%	30%	30%
P assimilé par les boues biologiques	kg/jour	9	21	32	43
P toléré au rejet	kg/jour	1	2	3	4
P à précipiter	kg/jour	19	48	72	96
Ratio en précipitation simultanée (Sadowski)	kg MS produites/kg P précipité	7	7	7	7
Production de boues physico-chimiques :	kg/jour	134	335	503	670
<b>Validation / Confrontation avec l'existant (age de boues et charge massique)</b>					



## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

Volume existant zone de contact	m <sup>3</sup>	125	125	125	125
Volume existant zone anaérobie	m <sup>3</sup>	680	680	680	680
Volume existant zone anoxie	m <sup>3</sup>	680	680	680	680
Volume existant zone aérobie	m <sup>3</sup>	4 400	4 400	4 400	4400
Volume existant total (2 files)	m <sup>3</sup>	5885	5885	5885	5885
Concentration maximum en MES souhaitée	g/l	4.5	4.5	4.5	4.5
Concentration maximum en MVS souhaitée	g/l	2.9	2.9	2.9	2.9
Age de boues limite dénitrification	jours	8	8	8	8
Charge massique maximum souhaitée	kgDBO5/kgMVS/jour	0.10	0.10	0.10	0.10
Volume considéré (aérobie + anoxie)	m <sup>3</sup>	5 205	5 205	5 205	5 205
Age de boues observé	jours	48	19	13	10
Charge massique observée	kgDBO5/kgMVS/jour	0.020	0.051	0.077	0.102
Temps de séjour des effluents dans les bassins	heures	134	54	36	27

Validation âge de boues	validé	validé	validé	validé
Validation charge massique	validé	validé	validé	non validé

### Validation / Confrontation avec l'existant (traitement de l'azote)

#### Nitrification :

Cinétique de nitrification (Sadowski)	g N-NTK/kgMVS/h	1.7	1.7	1.7	1.7
Volume disponible pour la nitrification (zone aération)	m <sup>3</sup>	4 400	4 400	4 400	4 400
Temps d'aération nécessaire à la nitrification	heures/jour	3.0	7.4	11.1	14.8

#### Dénitrification :

Rendement nitrification	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
N-NTK nitrifié en NO3	kg/jour	65	162	243	325
N-NO3 rejeté	kg/jour	5	13	20	26
N-NO3 à dénitrifier	kg/jour	60	149	224	298
Cinétique de dénitrification (Sadowski)	g N-NO3/kgMVS/h	1.6	1.6	1.6	1.6
Volume disponible pour la dénitrification (zone anoxie)	m <sup>3</sup>	680	680	680	680
Temps disponible pour la dénitrification (zone anoxie)	heures/jour	24	24	24	24
N-NO3 dénitrifiable en zone anoxie	kg/jour	76	76	76	76
Volume disponible pour la dénitrification (bassin d'aération)	m <sup>3</sup>	4 400	4 400	4 400	4 400
N-NO3 restant à dénitrifier dans le bassin d'aération	kg/jour	0	73	147	222
Temps nécessaire d'anoxie stricte dans le bassin d'aération	heures/jour	0.0	3.5	7.1	10.8

#### Syncopage :

Nombre de cycles d'aération par jour		6	6	6	6
Temps d'aération minimum par cycle	minutes	30	74	111	148
Temps de passage en anoxie stricte (consommation O2)	minutes	15	15	15	15
Temps réel d'aération disponible	heures/jour	22.5	19.0	15.4	11.7
Validation traitement de l'azote		validé	validé	validé	non validé

### Validation / Confrontation avec l'existant (zone de contact)

Volume total existant	m <sup>3</sup>	125	125	125	125
Temps de séjour observé	minutes	170	68	45	34
Temps de séjour minimum	minutes	15	15	15	15
Validation dimensionnement zone de contact		validé	validé	validé	validé

### Validation / Confrontation avec l'existant (zone anaérobie)

Volume total existant	m <sup>3</sup>	680	680	680	680
Temps de séjour observé	heures	15	6	4	3
Temps de séjour minimum	heures	2	2	2	2
Validation dimensionnement zone de contact		validé	validé	validé	validé

### Besoins en oxygène (Sadowski)

#### Oxydation de la matière organique :

a'	kgO2/kgDBO5 éliminée	0.70	0.70	0.70	0.7
Quantité de DBO5 éliminée	kgDBO5/jour	337	842	1264	1685
Quantité d'oxygène pour oxyder la matière organique	kgO2/jour	236	590	885	1179

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

### Métabolisme endogène des boues :

b'	kgO2/kgMVS/jour	0.07	0.07	0.07	0.07
Quantité de MVS dans le bassin d'aération	kg MVS	12870	12870	12870	12870
Quantité d'oxygène pour les besoins endogène des MVS	kgO2/jour	901	901	901	901

### Nitrification :

c'	kgO2/kgN-NTK à nitrifier)	4.53	4.53	4.53	4.53
Quantité de N-NTK à nitrifier	kg N-NTK/jour	65	162	243	325
Quantité d'oxygène pour nitrifier N-NTK	kgO2/jour	294	735	1 103	1 470

### Dénitrification :

d'	kgO2/kgN-NO3 à dénitrifier	-2.86	-2.86	-2.86	-2.86
Quantité de N-O3 à dénitrifier	kg N-NO3/jour	60	149	224	298
Quantité d'oxygène pour dénitrifier N-NO3	kgO2/jour	-171	-426	-640	-853

### TOTAL Besoins journaliers :

	kgO2/jour	1260	1799	2249	2698
--	-----------	------	------	------	------

Durée d'aération retenue	heures/jour	14.8	14.8	14.8	14.8
--------------------------	-------------	------	------	------	------

### TOTAL Besoins horaires réels à fournir :

	kgO2/h	66	109	145	181
--	--------	----	-----	-----	-----

Coefficient global de transfert		0.55	0.55	0.55	0.55
Hauteur d'eau sur diffuseurs	m	5	5	5	5
Rendement fines bulles (FNDAE31)	%/mCE	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Concentration en O2 dans l'air	kgO2/m³	0.30	0.30	0.30	0.30
Débit d'air à insuffler	Nm3/h	1604	2644	3512	4379

ASB	kgO2/kW absorbé	2.7	2.7	2.7	2.7
Puissance absorbée théorique	kW	45	73	98	122
Puissance absorbée existante (2 x 60 kW +1 secours)	kW	120	120	120	120

Validation surpresseurs		validé	validé	validé	non validé
-------------------------	--	--------	--------	--------	------------

### Besoins en chlorure ferrique (déphosphatation P/C)

Rendement déphosphatation biologique (FNDAE29a)	%	30%	30%	30%	30%
P assimilé par les boues biologiques (Sadowski)	%DBO5	2%	2%	2%	2%
P toléré au rejet	kg/jour	0.84	2.11	3.17	4.22
P à précipiter	kg/jour	19	48	72	96

Rapport molaire Fe/P (Sadowski)	mol Fe / mol P	2.0	2.0	2.0	2.0
Masse molaire Fe	kg Fe / mol	0.056	0.056	0.056	0.056
Masse molaire P	kg P / mol	0.031	0.031	0.031	0.031
Rapport massique Fe/P	kg Fe / kg P	3.6	3.6	3.6	3.6

Consommation journalière en fer pur	kg Fe/jour	69.2	172.9	259.4	345.9
Concentration en Fe du chlorure ferrique commercial (40%)	g Fe/l FeCl3 commercial	200	200	200	200
Consommation journalière en chlorure ferrique pur	m³ FeCl3/jour	0.3	0.9	1.3	1.7

Volume de la cuve de chlorure ferrique	m³	25	25	25	25
Autonomie de stockage	jours	72	29	19	14

Validation cuve de chlorure ferrique existante (1 mois)		validé	non validé	non validé	non validé
---	--	--------	------------	------------	------------

### Clarificateurs

Nombre de clarificateurs		2	2	2	2
Débit d'arrivée des eaux brutes par ouvrage	m³/h	22	55	83	110

### Dimensions existant

Hauteur d'eau	m	3	3	3	3
Diamètre unitaire	m	19	19	19	19
Surface unitaire	m²	284	284	284	284
Volume unitaire	m³	851	851	851	851

### Paramètres de fonctionnement

Charge hydraulique observée (max 0.6 m/h)	m/h	0.08	0.19	0.29	0.39
		validé	validé	validé	validé

Temps de séjour hydraulique minimum	heures	2.0	2.0	2.0	2.0
Volume de clarification	m³	44	110	165	220

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

Temps de séjour des boues minimum	heures	1.5	1.5	1.5	1.5
Volume d'épaississement	m³	33	83	124	165
Concentration boues secondaires "épaissies"	g/l	10	10	10	10
Masse de boues stockée dans le clarificateur	kg MS	330	825	1238	1650
Volume minimal nécessaire	m³	77	193	289	385
		validé	validé	validé	validé

### Épaississement boues primaires : épaisseur hersé

Rappel production de boues primaires	kg MS/jour	655	1638	2457	3277
Concentration boues primaires non épaissies	g/l	10	10	10	10
Volume boues primaires non épaissies	m³/jour	66	164	246	328
Taux de capture des MS	%	95%	95%	95%	95%
Concentration boues primaires épaissies	g/l	80	80	80	80
Volume boues primaires épaissies	m³/jour	7.8	19.5	29.2	38.9
Volume retours en tête	m³/jour	58	144	217	289
Flux MS retours en tête	kg MS/jour	33	82	123	164
Surface	m²	30	30	30	30
Diamètre	m	6.2	6.2	6.2	6.2
Hauteur d'eau	m	4	4	4	4
Volume	m³	120	120	120	120
Flux massique observé (max 120 pour boues primaires)	kg MS/m²/jour	21.8	54.6	81.9	109.2
Temps de séjour des boues	heures	44	18	12	9

### Épaississement boues secondaires : table d'égouttage

Rappel production de boues secondaires	kg MS/jour	486	1216	1824	2432
Concentration boues secondaires non épaissies	g/l	10	10	10	10
Volume boues primaires non épaissies	m³/jour	49	122	182	243
Taux de capture des MS	%	95%	95%	95%	95%
Concentration boues secondaires épaissies	g/l	50	50	50	50
Volume boues secondaires épaissies	m³/jour	9.2	23.1	34.7	46.2
Volume retours en tête	m³/jour	39	98	148	197
Flux MS retour en tête	kg MS/jour	24	61	91	122

### Fosse d'homogénéisation des boues mixtes

Production de boues primaires épaissies	kg MS/jour	623	1556	2335	3113
Production de boues secondaires épaissies	kg MS/jour	462	1155	1733	2310
Production de graisses	kg MS/jour	19	47	71	95
Apport de boues externes	kg MS/jour	548	548	548	548
Production de boues mixtes épaissies	kg MS/jour	1651	3307	4686	6065
Concentration boues mixtes épaissies	g/l	60	60	60	60
Volume boues mixtes épaissies	m³/jour	28	55	78	101
Taux de matières volatiles boues mixtes (Moletta)	%MVS	70%	70%	70%	70%

### Digesteur (Moletta)

#### Dimensionnement de l'ouvrage (mésophile jusqu'à 50% de charge puis thermophile)

Température digesteur	°C	37	37	55	55
Temps de séjour	jours	25	25	12	12
Charge organique	kg MVS/m³/jour	1.5	1.5	2.5	2.5
Volume nécessaire pour temps de séjour	m³	688	1378	937	1213
Volume nécessaire pour charge organique	m³	771	1543	1312	1698
Volume retenu	m³	1 698	1 698	1 698	1698
Hauteur retenue	m	10	10	10	10
Surface retenue	m²	170	170	170	170
Diamètre retenu	m	15	15	15	15
Rapport H/D (>1,5 conseillé pour brassage mécanique)		0.7	0.7	0.7	0.7

#### Production de biogaz

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

Rendement d'élimination des MVS	%	40%	40%	40%	40%
Rendement de production de biogaz	Nm <sup>3</sup> biogaz/kg MVS éliminé	0.9	0.9	0.9	0.9
Proportion de méthane dans le biogaz	%CH <sub>4</sub>	65%	65%	65%	65%
MVS éliminées	kg MVS/h	19	39	55	71
Production de biogaz	Nm <sup>3</sup> biogaz/h	17	35	49	64
Production de méthane	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /h	11	23	32	41
PCI méthane	kWh/Nm <sup>3</sup>	10	10	10	10
Prix rachat biométhane	c€/kWh	10	10	10	10

### Déshydratation

Production de boues digérées	kg MS/jour	1189	2381	3374	4367
Concentration boues digérées	g/l	45	45	45	45
Volume boues digérées	m <sup>3</sup> /jour	26	53	75	97

### Dimensionnement centrifugeuses

Nombre de centrifugeuses en fonctionnement (1 secours)		1	1	1	1
Nombre de jours de fonctionnement	jours/semaine	5	5	5	5
Heures de fonctionnement par jour	heures/jour	10	10	10	10
Autonomie de stockage tampon	jours	2	2	2	2
Volume bache à boues digérées (tampon déshydratation)	m <sup>3</sup>	53	106	150	194
Quantité de boues à traiter par jour ouvré	kg MS/j.o.	1 665	3 333	4 723	6 114
Capacité unitaire de traitement nécessaire	kg MS/h	166	333	472	611
Taux de capture des MS		95%	95%	95%	95%
Concentration boues déshydratées	g/l	220	220	220	220
Production journalière de boues déshydratées	m <sup>3</sup> /jour	5	10	15	19
Production annuelle de boues déshydratées	m <sup>3</sup> /an	1874	3752	5318	6883
Volume retours en tête	m <sup>3</sup> /jour	21	43	60	78
Flux MS retours en tête	kg MS/jour	59	119	169	218

### Besoins en polymère (Memento Suez)

Dosage polymère	kg MA/t MS	10	10	10	10
Consommation annuelle de polymère	t MA/an	4	9	12	16

### Besoins en chaux vive

Taux de chaulage	%CaO/MS	30%	30%	30%	30%
Quantité de chaux vive journalière nécessaire	kg CaO/jour	357	714	1012	1310
Masse volumique de la chaux vive	kg/m <sup>3</sup>	1 000	1 000	1 000	1000
Volume du silo à chaux	m <sup>3</sup>	40	40	40	40
Autonomie de stockage	jours	112	56	40	31

### Poste toutes eaux

Débit épaisseur hersé	m <sup>3</sup> /jour	58	144	217	289
Débit tables d'égouttage	m <sup>3</sup> /jour	39	98	148	197
Débit déshydratation	m <sup>3</sup> /jour	21	43	60	78
Débit journalier total	m <sup>3</sup> /jour	118	285	425	564
Débit de pointe horaire	m <sup>3</sup> /h	5	12	18	23

### Bilan énergétique

		Valeur basse	Valeur haute	Moyenne	Donnée
<b>Poste de relevage :</b>	Pompe de relèvement	4	5	5	8
		kW	kW	kW	h/jour
<b>Prétraitements :</b>	Dégrilleur	0.15	1.5	0.8	4
		kW	kW	kW	h/jour
	DDC	15	30	22.5	55
		W/m <sup>3</sup>	W/m <sup>3</sup>	W/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>

## Annexe 12 : Note de calcul de pré-dimensionnement

	Tamis rotatif	0.25 kW	0.75 kW	0.50 kW	24 h/jour
<b>Décantation primaire :</b>	Pompe d'extraction	3 kW	6 kW	4.50 kW	24 h/jour
<b>Bassins biologiques :</b>	Agitation	1 W/m3	2 W/m3	1.50 W/m3	5885 m3
	Aération	1.8 kg O2/kWh	2.1 kg O2/kWh	1.95 kg O2/kWh	2698 kg O2/jour
<b>Clarificateurs :</b>	Pont racleur	0.36 kW	0.74 kW	0.55 kW	24 h/jour
	Pompe de recirculation	4 kW	5 kW	5 kW	24 h/jour
<b>Epaissement :</b>	Epaisseur herse	5 kWh/t MS	10 kWh/t MS	8 kWh/t MS	3.3 tMS/jour
	Tables d'égouttage	25 kWh/t MS	50 kWh/t MS	38 kWh/t MS	2.4 tMS/jour
<b>Digester :</b>	Pompe d'alimentation	2 kW	5 kW	3.5 kW	24 h/jour
	Brassage	40 kWh/tMS	40 kWh/tMS	40.0 kWh/tMS	6.1 tMS/jour
	Chauffage	35 kWh/m3 boues	40 kWh/m3 boues	37.5 kWh/m3 boues	101 m3 boues/jour
<b>Déshydratation :</b>	Pompe d'alimentation	2 kW	5 kW	3.5 kW	24 h/jour
	Centrifugeuse	120 kWh/tMS	200 kWh/tMS	160.0 kWh/tMS	4.4 tMS/jour
<b>Epuration du biogaz</b>	Unité de filtration membranaire	0.43 kWh/Nm3 CH4	0.43 kWh/Nm3 CH4	0.43 kWh/Nm3 CH4	993.5 Nm3 CH4/jour

### TAUX DE CHARGE CONSIDERE

Coût électricité (c€/kWh)  
Prix rachat biométhane (c€/kWh)

100%
15
10

		kWh/jour	MWh/an	
<b>TOTAL consommations :</b>	<b>Poste de relevage</b>	72	26	2 pompes
	<b>Prétraitements</b>	45	16	
	<b>Décanteurs primaire</b>	108	39	
	<b>Bassins biologiques</b>	1595	582	
	<b>Clarificateurs</b>	229	84	2 pompes
	<b>Digesteurs</b>	4117	1503	
	<b>Filière boues</b>	867	316	2 pompes
	<b>Epuration du biogaz</b>	427	156	
	<b>TOTAL</b>	7461	2723	
	Dépenses énergie (€/jour et €/an)	-1055	-385 093	
<b>TOTAL productions :</b>	<b>Biométhane</b>	9935	3626	
	Recettes injection réseau	993	362 626	
	Location poste injection	-192	-70 000	
<b>BILAN ENERGETIQUE GLOBAL :</b>	<b>Bilan énergétique positif</b>	<b>2474</b>	<b>1059</b>	
	Bilan recettes* (€/jour et €/an)	-253	-92 467	*hors frais généraux
	<b>Bilan économique négatif</b>			

## ANNEXE 11 : Calcul des pertes de charge pour le calage hydraulique

Caractéristiques conduites/écoulement			
Débit maximal		m <sup>3</sup> /h	220
Vitesse maximale		m/s	1.5
Diamètre conduite		mm	228

Pertes de charges singulières*			
#	Type	K (unitaire)	PDC (m)
2	entrées	0.5	0.06
2	sorties	1	0.11
4	coudes 90°	1.5	0.17
1	venturi	0.5	0.06

\* Formule :  $PDC = K \cdot v^2 / 2g$

Pertes de charges linéaires* (20 m)			
L	M	N	PDC (m)
1.801	1.975	5.25	0.34
1.863	2	5.53	0.50

(K = 1 mm)

(K = 2 mm)

\* Formule : Lechapt et Calmon

Bilan des pertes de charge		
Cote clarificateur	m NGF	64.1
Cote PHE	m NGF	63.5
PDC max clarif./rejet	m	0.60
PDC singulières	m	0.34
PDC linéaires	m	0.40
PDC "restant" T.Tert.	m	-0.14

## **ANNEXE 13 : Références bibliographiques**

### Thématique Eau

- *Memento technique de l'eau*, Degremont, 2005
- *Dimensionnement d'une filière de traitement par boues activées*, ENGEES, 2016
- *Méthode de calcul d'une filière de traitement*, A.G. Sadowski, 2002
- *Hydrostatique et hydraulique en charge*, ENGEES, 2014
- *Hydraulique à surface libre*, ENGEES, 2016
- *Arrêté du 21 juillet 2015*

### Thématique Méthanisation

- *La méthanisation*, René Moletta, 2011
- *Guide de bonnes pratiques pour le projet de méthanisation*, Atee Club Biogaz, 2011
- *Guide méthodologique pour le suivi et l'établissement des bilans de performances d'une installation de méthanisation*, ADEME, 2014
- *Fiche technique méthanisation*, ADEME, 2014
- *La méthanisation des boues d'installations de traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles*, Synteau, 2014
- *Méthanisation des boues de station : règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse*, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 2012
- *Règles de sécurité des installations de méthanisation*, INERIS, 2010
- *Panorama de la filière biogaz, biométhane et de ses acteurs*, Atee Club Biogaz, 2012
- *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives*, INRS, 2011
- *La digestion anaérobie des boues urbaines*, Solagro, 2001
- *Principes et procédés d'épuration du biométhane pour l'injection dans les réseaux de gaz naturel*, ADEME et GRDF, 2011
- *Biométhane*, GRDF, 2014
- *Catalogue des prestations annexes proposées par GRDF*, GRDF, 2014
- *Du biogaz au biométhane Revue technique*, Aile, 2012
- *Revue des technologies disponibles en France pour des capacités de production inférieures à 80 Nm<sup>3</sup>/h*, Astrade Méthanisation, 2014
- *Arrêté du 10 novembre 2009*