



**HAL**  
open science

# Optimisation et extension des capacités des stations de traitement des eaux usées dans les zones péri-urbaines nord de la ville de Santa Cruz de la Sierra, Bolivie : étude de faisabilité

Tiphaine Guillet

## ► To cite this version:

Tiphaine Guillet. Optimisation et extension des capacités des stations de traitement des eaux usées dans les zones péri-urbaines nord de la ville de Santa Cruz de la Sierra, Bolivie : étude de faisabilité. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-02060957

**HAL Id: dumas-02060957**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02060957v1>**

Submitted on 7 Mar 2019

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

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

**OPTIMISATION ET EXTENSION DES CAPACITES DE  
TRAITEMENT DES EAUX USEES DANS LES ZONES  
PERI-URBAINES NORD DE LA VILLE DE SANTA CRUZ  
DE LA SIERRA, BOLIVIE**

*Etude de faisabilité*

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Mastère Spécialisé  
Eau Potable & Assainissement de l'ENGEES**

*Année 2017 – 2018*

*Stage réalisé par : Tiphaine GUILLET*



*Date de soutenance : 21 Novembre 2018*

*Maître de stage : M. STÜRMER Marcel  
Référent école : M. LAURENT Julien*

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon entreprise **GITEC-IGIP GmbH** pour m'avoir soutenu dans la réalisation de ce mastère professionnel en me libérant de mes fonctions pendant 12 mois et pour l'appui financier apporté. Plus particulièrement, je remercie le **Dr JENDRISCHEWSKI Wolfgang** et **Mr KASPRZYK Christophe** pour m'avoir encouragée tout au long de cette année, et accueillie à Cologne pour ma période de stage.

Je remercie **Mr STÜRMER Marcel**, mon maître de stage, pour m'avoir encadré tout au long de cette période, pour sa disponibilité, sa patience et pour tout ce qu'il m'a transmis au cours de ces six derniers mois.

Je remercie l'ensemble de mes collègues du département Ingénierie des Ressources en Eau et de l'Assainissement pour leur accueil, leurs précieux conseils et leurs encouragements. Et plus particulièrement **Mr CÔTE Xavier** pour tous ses conseils sur les aspects hydrauliques et son partage de connaissances en général.

Merci également à toute l'équipe GITEC-IGIP de Cologne pour leur accueil et la découverte de la ville.

Je remercie également toute l'équipe des formations professionnelles de l'ENGEES et l'équipe pédagogique pour la qualité de l'enseignement qui a été dispensé mais également pour les conseils reçus pour la suite de ma vie professionnelle.

Merci à mes amis de la promotion MS EPA 2017/2018, ils se reconnaîtront, sans qui cette aventure strasbourgeoise n'aurait sans doute pas été la même.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille pendant cette année ponctuée de doutes, parfois de déceptions mais incontestablement riches en découvertes et en apprentissages.

## RESUME

La ville de Santa Cruz en Bolivie a connu, une importante croissance démographique au cours de ces dernières années. Les installations de traitement des eaux usées en place sont arrivées à saturation (capacité totale de 140 000 m<sup>3</sup>/j). Ainsi, l'exploitant, la coopérative SAGUAPAC, a pour mission de réfléchir/trouver une solution pour l'extension des capacités de traitement des eaux usées de la ville, et plus particulièrement dans les zones péri urbaines Nord.

En tant que consultant, GITEC-IGIP GmbH s'est vu confier une étude de faisabilité dont l'objectif est de proposer différents procédés de traitement en lien avec la législation en vigueur en Bolivie, pour l'extension d'une STEU déjà existante et pour la construction d'une nouvelle STEU. Les différentes options sont analysées à l'aide d'une matrice d'évaluation permettant ainsi à l'exploitant, à l'autorité municipale, au Ministère en charge de l'Eau et de l'Environnement et au bailleur de fonds (KFW) de retenir la meilleure alternative en fonction des performances de traitement attendues (niveau de rejet attendu), du niveau technologique, des coûts d'investissement et d'exploitation, de la production des boues et résidus, et de la surface requise.

Pour la nouvelle STEU, le choix s'est porté à l'unanimité sur un procédé avec lits bactériens et réacteurs anaérobies en traitement primaire. Concernant l'extension de la STEU existante, il est recommandé de conserver les lagunes existantes et d'introduire des filtres anaérobies dans le procédé. Pour le traitement de la pollution azotée en seconde phase, un changement de procédé en lits bactériens sera nécessaire pour atteindre les objectifs de purification.

*Mots clés : eaux usées, station d'épuration (STEU), traitement biologique, étude de faisabilité, réacteurs anaérobies, lagunage, boues activées, lits bactérien, traitement des boues, Bolivie*

## ABSTRACT

The city of Santa Cruz in Bolivia has experienced significant population growth in recent years. The existing wastewater treatment facilities have reached saturation point (total capacity of 140 000 m<sup>3</sup>/day). Thus, the operator, SAGUAPAC cooperative, has the task of reflecting/finding a solution for the extension of the city's wastewater treatment capacities, and more particularly in the northern peri-urban areas.

As a consultant, GITEC-IGIP GmbH was entrusted with a feasibility study, the objective of which is to propose different treatment processes in accordance with the legislation to be applied in Bolivia, for the extension of an existing WWTP and for the construction of a new plant. The different options will be analyzed using an evaluation matrix allowing the operating cooperative, the municipal authority, the Ministry of Water and Environment and the donor (KFW) to select the best alternative according to the expected treatment performance (expected discharge level), the technological level, the investment and operating costs, the production of sludge and residues, and the required surface area.

For the new WWTP, the choice was unanimously made for a process with trickling filters and anaerobic reactors for primary treatment. Concerning the extension of the existing WWTP, it is recommended to keep the existing lagoons and to introduce anaerobic filters into the process. For the treatment of nitrogen pollution in the second phase, a process change to trickling filters will be necessary to achieve the purification goals.

*Key words: wastewater, wastewater treatment plant (WWTP), biologic treatment, feasibility study, anaerobic filters, ponds system, activated sludge process, trickling filters, sludge treatment, Bolivia*



## RESUMEN

La ciudad de Santa Cruz en Bolivia, ha sufrido un importante crecimiento demográfico en los últimos años. Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales existentes, han alcanzado el punto de saturación (capacidad total de 140 000 m<sup>3</sup>/día). Así, el operador del servicio, la cooperativa SAGUAPAC, tiene la difícil tarea de encontrar una solución para la ampliación de las capacidades de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad, y más particularmente, en las zonas periurbanas de la zona norte.

Como consultor, se encargó a GITEC-IGIP GmbH un estudio de viabilidad, cuyo objetivo es proponer diferentes procesos de tratamiento de acuerdo con la legislación vigente en Bolivia, para la ampliación de una PTAR existente y la construcción de una nueva PTAR. Las diferentes opciones se analizaron mediante una matriz de evaluación que permitirá a la operadora del servicio (SAGUAPAC), al Gobierno Autónomo Municipal, el Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua y al donante (KFW) seleccionar la mejor alternativa en función del rendimiento esperado del tratamiento (nivel de vertido esperado), el nivel tecnológico, los costos de inversión, operación y mantenimiento, la producción de lodos y residuos, y el área requerida.

Para la nueva PTAR, se optó de manera conjunta con las entidades del proyecto por un tratamiento compuesto por Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente- RAFA (tratamiento primario) y Lechos Percoladores (tratamiento secundario). En cuanto a la ampliación de la PTAR existente, se recomienda mantener las lagunas existentes e introducir filtros anaeróbicos en el proceso. Para remoción del nitrógeno en la segunda fase, fue necesario un cambio de proceso en los lechos percoladores para alcanzar los objetivos de purificación.

*Palabras clave: aguas residuales, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), tratamiento biológico, estudio de factibilidad, RAFA, lagunas, lodos activados, lechos percoladores, tratamiento de lodos, Bolivia*

## TABLE DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b>   | <b>13</b> |
| <b>1 PRESENTATION DU CONTEXTE ET DE L'ETUDE</b>   | <b>14</b> |
| 1.1 Situation de l'assainissement et de l'épuration en régions chaudes : Cas de l'Amérique Latine | 14        |
| 1.2 Présentation et objectif du projet  | 15        |
| 1.2.1 Contexte de l'étude   | 15        |
| 1.2.2 Présentations des différents acteurs du projet  | 16        |
| 1.3 Présentation de la ville de Santa Cruz et état actuel de son assainissement                   | 17        |
| 1.3.1 Présentation des infrastructures existantes   | 17        |
| 1.3.2 Présentation de la norme de rejet & état initial de la rivière                              | 19        |
| 1.3.3 Normes de rejet – Comparaison avec la norme française                                       | 20        |
| 1.3.4 Caractérisation des eaux usées – Analyse des données existantes                             | 20        |
| 1.3.5 Evolution démographique et zonage de la ville de Santa Cruz                                 | 21        |
| 1.3.6 Conditions climatiques  | 24        |
| <b>2 TRAITEMENT DES EAUX USEES ET TRAITEMENT DES BOUES</b>  | <b>25</b> |
| 2.1 Traitement des eaux usées   | 25        |
| 2.1.1 Dégradation de la pollution carbonée  | 25        |
| 2.1.2 Dégradation de la pollution azotée  | 33        |
| 2.2 Traitement des boues  | 35        |
| 2.2.1 Epaissement des boues   | 36        |
| 2.2.2 Stabilisation des boues   | 38        |
| 2.2.3 Conditionnement et déshydratation des boues   | 39        |
| 2.2.4 Séchage des boues   | 43        |
| 2.2.5 Evacuation des boues  | 44        |
| <b>3 PRÉSENTATION DES ALTERNATIVES ÉTUDIÉES</b>   | <b>45</b> |
| 3.1 Objectifs de traitement   | 45        |
| 3.2 Extension de la station de traitement des eaux usées Este                                     | 46        |
| 3.2.1 Critères de dimensionnement   | 47        |
| 3.2.2 Présentation des différentes options / justification (3 alternatives)                       | 48        |
| 3.2.3 Prétraitement   | 48        |
| 3.2.4 Alternative 1 : Une série de lagunes supplémentaires  | 49        |
| 3.2.5 Alternative 2 : Insertion de filtres anaérobies   | 50        |
| 3.2.6 Alternative 3 : Process par boues activées  | 51        |
| 3.2.7 Désinfection des eaux   | 52        |
| 3.2.8 Production, excavation et séchage des boues   | 53        |
| 3.2.9 Estimation des coûts  | 54        |
| 3.3 Construction d'une nouvelle station de traitement des eaux usées Motacusal                    | 54        |
| 3.3.1 Critères de dimensionnement   | 55        |
| 3.3.2 Présentation des différentes alternatives / justification (4 alternatives)                  | 55        |
| 3.3.3 Prétraitement   | 56        |
| 3.3.4 Alternative 1 : Process par boues activées  | 56        |
| 3.3.5 Alternative 2 : Lits bactériens avec décantation primaire                                   | 58        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.3.6      | Alternative 3 : Lits bactériens avec fosse Imhoff  | 60        |
| 3.3.7      | Alternative 4 : Lits bactériens avec réacteurs anaérobies                                  | 61        |
| 3.3.8      | Désinfection des eaux usées  | 63        |
| 3.3.9      | Traitement des boues   | 64        |
| 3.3.10     | Estimation des coûts   | 65        |
| <b>4</b>   | <b>COMPARAISON ET CHOIX DES ALTERNATIVES</b>   | <b>66</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Elaboration d'une matrice de comparaison</b>  | <b>66</b> |
| 4.1.1      | Définition des critères d'évaluation   | 66        |
| 4.1.2      | Méthode d'évaluation des alternatives  | 67        |
| <b>4.2</b> | <b>Comparaison et recommandation d'une filière de traitement pour la station Este</b>      | <b>68</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Comparaison et recommandation d'une filière de traitement pour la station MOTACUSAL</b> | <b>70</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Commentaires et choix du Client / bailleur de fonds</b>                                 | <b>72</b> |
|            | <b>CONCLUSION</b>  | <b>76</b> |
|            | <b>BIBLIOGRAPHIE</b>   | <b>77</b> |

## **ANNEXES**

|          |  |
|----------|--|
| ANNEXE 1 | CARTES   |
| ANNEXE 2 | DETAILS EVOLUTION DE LA POPULATION DE SANTA CRUZ     |
| ANNEXE 3 | ANALYSE DES DONNEES D'EXPLOITATION DE LA STEU ESTE   |
| ANNEXE 4 | DETAILS DES CALCUL DE PROCESS POUR LA STEU MOTACUSAL |
| ANNEXE 5 | DETAILS DES COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION |
| ANNEXE 6 | DETAILS DES CALCULS DANS LA MATRICE DE COMPARAISON   |
| ANNEXE 7 | NOTE DE CALCUL DE LA LIGNE D'EAU – STEU MOTACUSAL    |
| ANNEXE 8 | PLAN D'IMPLANTATION DE LA STEU MOTACUSAL             |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Technologies de traitement en Amérique Latine et Caraïbes ( <i>Alberto Noyola et al., 2012</i> )  | 15 |
| Figure 2 : Activités à travers le monde de la société GITEC-IGIP   | 17 |
| Figure 3 : Secteurs de la ville concernés par les stations de traitement Este et Motacusal   | 18 |
| Figure 4 : Coupe d'un décanteur rectangulaire (gauche) et d'un décanteur circulaire (droite)   | 26 |
| Figure 5 : Schémas de filtres anaérobies à débit ascendant (gauche) et à débit descendant (droite)   | 27 |
| Figure 6 : Coupe schématique d'un réacteur anaérobie à flux ascendant ( <i>van Haandel &amp; Lettinga, 1994</i> )  | 28 |
| Figure 7 : Schéma d'un lit bactérien avec système de distribution rotatif ( <i>Metcalf &amp; Eddy, 1991</i> )  | 29 |
| Figure 8 : Schéma type d'un lit bactérien avec recirculation ( <i>von Sperling M., 2007</i> )  | 30 |
| Figure 9 : Schéma classique boues activées ( <i>von Sperling M., 2007</i> )  | 31 |
| Figure 10 : Disposition typique d'un système de lagunage : lagune anaérobie, lagune facultative et lagunes de maturation en série ( <i>von Sperling M., 2007</i> ) | 32 |
| Figure 11 : Dénitrification par syncopage de l'aération  | 35 |
| Figure 12 : Dénitrification dans deux bassins distincts  | 35 |
| Figure 13 : Etapes du traitement des boues ( <i>Laurent J., 2017</i> )   | 36 |
| Figure 14 : Coupe transversale épaisseur statique ( <i>Memento Degremont®</i> )  | 37 |
| Figure 15 : Schéma en coupe d'une centrifugeuse haute pression ( <i>Memento Degremont®</i> )   | 40 |
| Figure 16 : Descriptif d'un filtre presse ( <i>Cleverson Vitorio Andreoli et al. (Ed.), 2007</i> )   | 41 |
| Figure 17 : Coupe longitudinale d'un lit de séchage ( <i>Gonçalves, 1999</i> )   | 42 |
| Figure 18 : Schéma du fonctionnement général d'une serre ( <i>Brisson, C. et al, 2010</i> )  | 43 |
| Figure 19 : Schéma de traitement Alternative 1 – STEU Este   | 49 |
| Figure 20 : Schéma de traitement Alternative 2 (phase 1) – STEU Este   | 50 |
| Figure 21 : Schéma de traitement Alternative 2 (phase 2) – STEU Este   | 51 |
| Figure 22 : Schéma de traitement Alternative 3 (phase 1) – STEU Este   | 51 |
| Figure 23 : Schéma de traitement Alternative 3 (phase 2) – STEU Este   | 52 |
| Figure 24 : Schéma de traitement Alternative 1 – STEU Motacusal  | 57 |
| Figure 25 : Schéma de traitement Alternative 2 – STEU Motacusal  | 59 |
| Figure 26 : Schéma de traitement Alternative 3 – STEU Motacusal  | 60 |
| Figure 27 : Schéma de traitement Alternative 4 – STEU Motacusal  | 62 |
| Figure 28 : Comparaison des méthodes d'évolution de la population pour la STEU Motacusal   | 73 |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques des stations de traitement des eaux usées domestiques exploitées par la SAGUAPAC | 18 |
| Tableau 2 : Paramètres des masses d'eau – Classe D selon la Loi 1333/92                                       | 19 |
| Tableau 3 : Comparaison des seuils réglementaires de rejet entre la France et la Bolivie                      | 20 |
| Tableau 4 : Rendement moyen observé à la STEU Este entre 2007 et 2017   | 21 |
| Tableau 5 : Taux de croissance appliqués à la population de Santa Cruz  | 22 |
| Tableau 6 : Répartition du nombre de raccordements par secteur  | 23 |
| Tableau 7 : Evolution de la population de Santa Cruz  | 23 |

|  |    |
|--|----|
| Tableau 8 : Températures moyennes enregistrées à Santa Cruz (1985 – 2014)  | 24 |
| Tableau 9 : Pluviométrie moyenne enregistrée à Santa Cruz  | 24 |
| Tableau 10 : Objectif de qualité pour les effluents des stations Este et Motacusal                                   | 45 |
| Tableau 11 : Débits estimés pour la station de traitement Este   | 47 |
| Tableau 12 : Concentration et charges des eaux usées attendues à la STEU Este  | 48 |
| Tableau 13 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 1 STEU Este                                    | 49 |
| Tableau 14 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 2 STEU Este                                    | 51 |
| Tableau 15 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 3 STEU Este                                    | 52 |
| Tableau 16 : Production de boues pour les alternatives de la STEU Este après déshydratation (lits de séchage)        | 53 |
| Tableau 17 : Coûts d’investissement, d’exploitation et d’entretien des différentes alternatives de la STEU Este      | 54 |
| Tableau 18 : Débits attendus à la STEU Motacusal   | 55 |
| Tableau 19 : Concentrations et charges des eaux usées attendues à la STEU Motacusal                                  | 55 |
| Tableau 20 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 1 STEU Motacusal                               | 57 |
| Tableau 21 : Production de boues – Alternative 1 STEU Motacusal  | 58 |
| Tableau 22 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 2 STEU Motacusal                               | 59 |
| Tableau 23 : Production de boues – Alternative 2 STEU Motacusal  | 60 |
| Tableau 24 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 3 STEU Motacusal                               | 61 |
| Tableau 25 : Production de boues – Alternative 3 STEU Motacusal  | 61 |
| Tableau 26 : Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 4 STEU Motacusal                               | 63 |
| Tableau 27 : Production de boues – Alternative 4 STEU Motacusal  | 63 |
| Tableau 28 : Désinfection des eaux usées   | 64 |
| Tableau 29 : Surface nécessaire pour la déshydratation des boues avec des lits de séchage                            | 65 |
| Tableau 30 : Coûts d’investissement, d’exploitation et d’entretien des différentes alternatives de la STEU Motacusal | 65 |
| Tableau 31 : Critères et indicateurs définis pour l’évaluation des alternatives de traitement                        | 67 |
| Tableau 32 : Pondération des critères d’évaluation   | 68 |
| Tableau 33 : Evaluation des différents critères pour la STEU Este  | 69 |
| Tableau 34 : Evaluation des différents critères pour la STEU Motacusal   | 71 |
| Tableau 35 : Population pour le dimensionnement de l’extension de la STEU Este                                       | 73 |
| Tableau 36 : Population pour le dimensionnement de l’extension de la STEU Motacusal                                  | 73 |
| Tableau 37 : Différences de concentrations des effluents   | 74 |

## LISTE DES PHOTOS

|   |    |
|---|----|
| Photo 1 : Emissaire de la STEU Este ( <i>GITEC, 2018</i> )  | 19 |
| Photo 2 : Futur point de décharge dans la rivière au niveau de la STEU Motacusal ( <i>GITEC, 2018</i> )       | 19 |
| Photo 3 : Aperçu d’une partie des lagunes anaérobies couvertes et lagunes facultatives ( <i>GITEC, 2018</i> ) | 46 |
| Photo 4 : Curage de la fosse d’arrivée ( <i>GITEC, 2018</i> )   | 46 |
| Photo 5 : Dégrillage grossier ( <i>GITEC, 2018</i> )  | 46 |
| Photo 6 : Dégrillage fin ( <i>GITEC, 2018</i> )   | 46 |
| Photo 7 : Gétotubes <sup>®</sup> installés à la STEU Este ( <i>GITEC, 2018</i> )                              | 46 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|                              |  |
|------------------------------|--|
| CF                           | Coliformes fécaux  |
| DBO <sub>5</sub>             | Demande Biologique en Oxygène à 5 jours  |
| DCO                          | Demande Chimique en Oxygène  |
| DWA                          | Association Technique Allemande pour l'Assainissement (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V) |
| EMAGUA                       | Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua   |
| Eq. Hab.                     | Equivalent Habitant  |
| ERU                          | Eaux Résiduaires Urbaines  |
| ha                           | Hectare  |
| INE                          | Instituto Nacional de Estadística  |
| KFW                          | Kreditanstalt für Wiederaufbau   |
| m <sup>2</sup>               | Mètre carré  |
| m <sup>3</sup>               | Mètre cube   |
| MES                          | Matières en Suspension   |
| Mi                           | Million  |
| mm                           | Millimètre   |
| MMAyA                        | Ministerio de Medio Ambiente y Agua  |
| MS                           | Matière Sèche  |
| MVS                          | Matières Volatiles en Suspension   |
| N                            | Azote  |
| NMP                          | Número Más Probable (détermination du nombre de coliformes)  |
| N-NH <sub>4</sub>            | Azote ammoniacal   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Nitrites   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Nitrates   |
| NTK                          | Azote Kjeldahl   |
| P                            | Phosphore  |
| RAFA                         | Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant  |
| SAGUAPAC                     | Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Santa Cruz Ltda.  |
| PTAR                         | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales  |
| STEU                         | Station de Traitement des Eaux Usées   |
| TdR                          | Termes de Références   |

## GLOSSAIRE

**Anaérobie** : milieu où il n'y a pas de présence d'oxygène sous forme de dioxygène (O<sub>2</sub>). Opposé à aérobie.

**Bassin d'aération** : ouvrage de l'étape biologique d'une filière de traitement par boues activées, où s'accumule la masse bactérienne ayant pour fonction la dégradation de la pollution organique des eaux usées. L'aération est forcée (soit par injection soit par brassage) est indispensable pour apporter l'oxygène nécessaire au traitement biologique.

**Bassin de stabilisation** : bassin servant à la rétention d'eaux résiduaires avant rejet, et dans lequel se produit une oxydation biologique des matières organiques par un processus de transfert de l'oxygène de l'air vers l'eau, naturellement ou artificiellement accéléré. Procédé extensif.

**Boues activées** : procédés de traitement biologique des eaux usées. Le traitement est effectué dans un bassin d'aération suivi d'un clarificateur afin de séparer les boues et l'eau traitée.

**Boues biologiques** : boues en excès issues d'un clarificateur (ou décantation secondaire) après un traitement biologique.

**Boues digérées** : boues stabilisées par voie anaérobie (digestion). Opposé aux boues fraîches.

**Boues mixtes** : mélange des boues primaires et biologiques.

**Boues primaires** : boues issues d'une simple décantation des eaux usées urbaines.

**Charge hydraulique** : rapport de débit des eaux usées divisé par la surface totale d'un ouvrage.

**Charge surfacique** : correspond à la quantité journalière de DBO<sub>5</sub> appliquée à une surface de garnissage (support du biofilm). Elle s'exprime en g de DBO<sub>5</sub>/j/m<sup>2</sup> de surface de support et permet de déterminer le rendement théorique d'un lit bactérien.

**Charge volumique** : correspond à la quantité journalière de DBO<sub>5</sub> (kg/j) arrivant sur un ouvrage divisé par le volume de ce dernier (m<sup>3</sup>). Elle s'exprime en kg DBO<sub>5</sub>/j/m<sup>3</sup>.

**Clarificateur** : ouvrage de décantation secondaire placé en fin de filière biologique assurant trois fonctions : séparation de l'eau épurée et de la boue, épaissement des boues dans le cas d'une recirculation des boues concentrées et stockage temporaire des boues.

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biologique en Oxygène à 5 jours représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour dégrader la matière organique biodégradable pendant 5 jours à une température de 20°C et à l'obscurité.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène indique la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxydation (dégradation chimique) de toutes les substances organiques et minérales présentes dans les eaux usées.

**Décanteur** : ouvrage permettant de recueillir les matières en suspension par gravité. Un décanteur est qualifié de « primaire » ou « secondaire » selon sa position dans la filière de traitement.

**Dégrilleur** : ouvrage de prétraitement, manuel ou automatique, composé de grilles parallèles ayant un écartement défini, destiné à retenir les matières volumineuses et les déchets de toutes sortes contenus dans les eaux usées arrivant à la STEU.

**Déshydratation** : étape de traitement des boues permettant de diminuer la teneur en eau des boues et d'atteindre en sortie une teneur en matière sèche (siccité) entre 15 et 40%.

**Dessableur / Dégraisseur** : ouvrage de prétraitement qui permet la décantation du sable et l'évacuation des surnageant (huiles et graisses) qui sont contenus dans les eaux brutes arrivant à la STEU.

**Épaississement des boues** : consiste en la première étape de réduction du volume des boues extraites de la filière eau et permet d'optimiser les étapes de conditionnement, de stabilisation et de déshydratation en réduisant la taille des ouvrages et les coûts d'exploitation. Deux procédés sont couramment utilisés : l'épaississement par décantation gravitaire et l'épaississement dynamique.

**Equivalent Habitant** : unité de mesure qui définit la taille d'une STEU.

**Filtre anaérobie** : permet de convertir la DBO<sub>5</sub> en conditions anaérobies par des bactéries qui se développent attachées à un milieu support dans le réacteur. Le réservoir est submergé et l'écoulement est ascendant. La production de boues est faible et l'excès de boues est déjà stabilisé.

**Fosse Imhoff** : ouvrage composé de deux bassins pour le traitement des eaux usées : une chambre de décantation surmontant une fosse de digestion des boues.

**Lagunage naturel** : procédé de traitement des eaux usées composé d'une succession de bassins où l'on recrée les conditions d'autoépuration du milieu naturel. Classiquement, ce procédé de traitement est composé d'une lagune anaérobie, d'une lagune facultative et d'une ou deux lagunes de maturation.

**Lagunage aéré** : procédé analogue à celui du lagunage naturel à la différence que l'apport d'oxygène est forcé via des aérateurs.

**Lagune anaérobie** : traitement primaire permettant d'éliminer la partie organique décantable des effluents urbains et la pollution organique soluble facilement assimilable des effluents industriels. Les boues créées à partir de la pollution décantable sont digérées par voie anaérobie.

**Lagune facultative** : traitement primaire ou secondaire basé sur des processus épuratoires aérobies dans la partie « liquide » (supérieure) et à des processus anaérobies au voisinage du fond de la lagune où les boues sédimentent. L'apport en oxygène nécessaire est assuré essentiellement par la photosynthèse des algues et par les échanges air/eau à la surface.

**Lagune de maturation** : utilisé en traitement secondaire et surtout tertiaire, elle assure des fonctions de finition/polissage des effluents avant rejet, mais surtout assure l'abattement des germes de contamination fécale. Le fonctionnement est proche des lagunes facultatives où les conditions sont essentiellement aérobies.

**Lit bactérien** : procédé de traitement biologique à cultures fixées non immergées utilisant un matériau de contact traditionnel ou plastique sur lequel les eaux usées à traiter sont distribuées en continu.



**Lit de séchage des boues** : ouvrage de traitement des boues permettant le séchage de celles-ci pour atteindre une siccité allant jusqu'à 70% en fonction des conditions climatiques et du temps de séchage.

**Matières En Suspension (MES)** : ensemble des matières solides insolubles présentes dans l'eau et visibles à l'œil nu.

**Réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA)** : unité de traitement anaérobie dit « à cultures libres » à haut rendement, permettant de bonnes performances de traitement de la pollution carbonée. Une phase de digestion anaérobie suivie d'une phase de décantation sont séparées par un « séparateur de phases », spécificité de cet ouvrage.

**Siccité** : correspond au pourcentage massique de matières sèches dans les boues d'épuration.

**Taux de recirculation** : correspond au rapport entre le débit d'eaux recirculées au sein d'une filière de traitement divisé par le débit d'eaux usées arrivant à la STEU.

## INTRODUCTION

La ville de Santa Cruz en Bolivie compte aujourd'hui plus de 1,4 Mi. d'habitants. Elle a vu sa population doubler au cours de ces 25 dernières années. Cette croissance urbaine a été mal, voire très peu anticipée et les différentes installations liées à l'eau et à l'assainissement sont rapidement devenues insuffisantes. Le flux d'eaux usées domestiques à traiter ne fait que croître. Certaines des cinq STEU déjà en exploitation dans la ville sont arrivées à saturation et il est nécessaire de trouver rapidement une solution pour traiter et évacuer ces eaux usées afin que les performances de traitement en place ne soient pas altérées.

C'est dans ce cadre, qu'une étude de faisabilité a été commanditée par le Ministère de l'Eau et de l'Environnement de Bolivie et financée par la coopération allemande (KFW) pour améliorer les capacités de traitement des eaux usées de la ville et plus particulièrement pour les zones périphériques Nord. Cette étude comprend deux axes, d'une part la réhabilitation et l'extension d'une STEU déjà existante et d'autre part, la construction d'une toute nouvelle STEU. Celles-ci devront répondre aux besoins jusqu'à l'horizon 2041.

Le futur projet est défini selon deux phases qui prennent en compte l'évolution de la population et des objectifs de purification différents afin de respecter la loi en vigueur dans le pays. Actuellement, les procédés de traitement en place sont basés exclusivement sur le lagunage. La SAGUAPAC, coopérative responsable de l'exploitation des installations d'eau potable et d'assainissement, souhaite, dans la mesure du possible, continuer avec ce mode traitement. Néanmoins, compte tenu des objectifs de traitement en termes de réduction de l'azote, l'enjeu semble compliqué.

L'objectif de l'étude de faisabilité est de proposer différentes alternatives de traitement pour chaque station. Une matrice d'évaluation comprenant différents critères d'ordre environnemental, sanitaire, économique, technique et technologique, permettra de comparer les différentes options et de retenir la solution la plus adaptée en fonction des critères retenus. Le choix d'une solution devra être validé à la fois par le Ministère, les autorités municipales, la coopérative SAGUAPAC et le bailleur de fonds.

Ainsi, ce rapport s'attachera à présenter tout d'abord la situation de l'assainissement en Amérique Latine afin de mieux appréhender le contexte de la ville de Santa Cruz. Puis une présentation plus spécifique de la ville sera effectuée à travers ses installations existantes pour le traitement des eaux usées, sa population et ses perspectives de croissance, etc. Un état de l'art des procédés de traitement des eaux usées et des boues sera ensuite dressé permettant ainsi d'avoir un large panel des procédés existants aujourd'hui à travers le monde.

Dans un second temps, les différentes alternatives envisagées pour l'extension des capacités de traitement pour la ville seront décrites en fonction des objectifs de traitement correspondants. Afin de pouvoir comparer et retenir la solution la plus appropriée pour chaque station, une matrice d'évaluation sera proposée regroupant plusieurs critères qui seront également décrits. L'objectif de cette première phase de l'étude est de retenir une solution de traitement pour chaque STEU approuvée par tous les acteurs du projet.

## 1 PRESENTATION DU CONTEXTE ET DE L'ETUDE

### Approche méthodologique

*Au démarrage du stage, un travail de recherche bibliographique a été effectué afin de situer et de comprendre la situation de l'assainissement dans les régions chaudes, et plus particulièrement en Amérique Latine.*

*Une première étude de faisabilité pour l'amélioration des unités de traitement de la ville de Santa Cruz avait déjà été réalisée en 2015, mais en raison d'un changement de site pour la nouvelle station, un travail complémentaire est nécessaire et est l'objet du présent stage. Des recherches sur le contexte de la ville de Santa Cruz (état des lieux de l'existant) et la prise de connaissance des documents existants, identification des différents acteurs, etc. ont suivi l'étape de bibliographie.*

### 1.1 Situation de l'assainissement et de l'épuration en régions chaudes : Cas de l'Amérique Latine

L'Amérique Latine et les Caraïbes sont des régions considérées comme humides où les ressources en eau sont plutôt abondantes ; il existe néanmoins des zones très arides. L'essentiel de la consommation en eau est destinée à l'agriculture (env. 70% des prélèvements) alors que les consommations domestiques et industrielles comptent respectivement 17% et 13% des prélèvements (Aquastat, 2016).

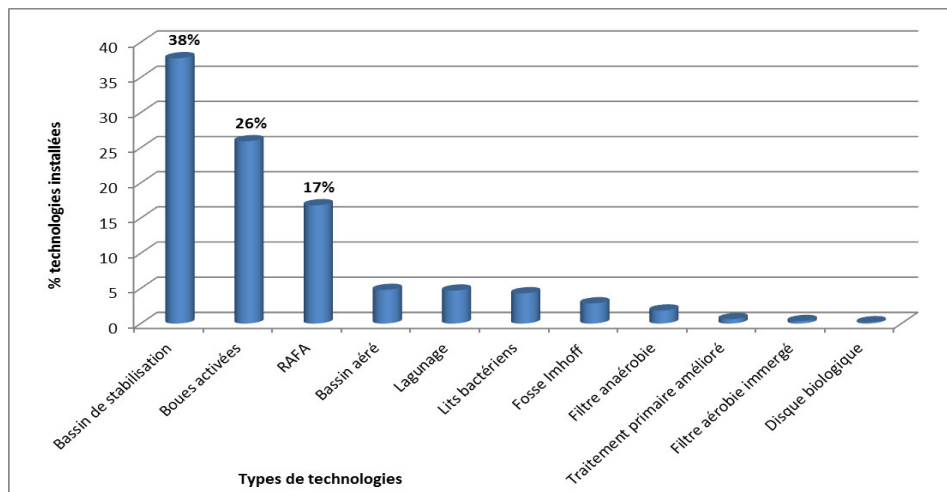
La croissance urbaine dans cette région du monde est très importante (80% de la population vit en zone urbaine) mais a surtout été mal ou non planifiée. Il en résulte que les rejets d'eaux usées urbaines sont de plus en plus importants du fait de l'importante croissance démographique et du développement des services d'eau et d'assainissement. En 2015, on considère que 88% de la population urbaine avait accès à des installations sanitaires améliorées (UNICEF/OMS, 2015) mais moins de 60% de celles-ci sont raccordées à un réseau d'assainissement.

Le traitement des eaux usées urbaines se retrouve aujourd'hui au cœur des préoccupations des gouvernements car les eaux usées interceptées et collectées par les réseaux d'assainissement sont rejetées vers le milieu naturel ce qui crée des problèmes de pollution de l'eau non négligeable. Le coût élevé du traitement des eaux usées avait, entre autres, retardés les investissements, les pays ayant d'autres défis sociaux à relever. Le taux de couverture du traitement des eaux usées urbaines a presque doublé depuis la fin des années 1990 et est aujourd'hui estimée entre 20 et 30% (UN Water, 2017). Les pays comme le Brésil, l'Uruguay ou le Mexique traitent aujourd'hui plus de 50% de leurs eaux usées urbaines (Lentini E.E., 2015).

Le développement du traitement des eaux usées dépend également de la volonté et des capacités des pays à mettre en place des stratégies nationales durables afin d'éviter les initiatives isolées qui seront probablement abandonnées par manque de moyens techniques et financiers. Les objectifs de traitement sont variables en fonction des pays et dépendent de la législation en vigueur qui peut être plus ou moins stricte au niveau des paramètres tels que le carbone, l'azote, le phosphore, les coliformes fécaux et les œufs d'helminthes. On peut classer les différentes législations existantes selon 3 catégories (Alberto Noyola et al., 2012) : (i) les règlements qui fixent des limites maximales que doivent respecter les eaux usées rejetées dans les eaux réceptrices, (ii) les règlements qui se concentrent sur le corps récepteur afin de préserver son intégrité et (iii) les règlements qui nécessitent un pourcentage d'élimination de charge organique rejetée. Il existe une grande diversité d'approches et de normes pour la lutte contre la pollution de l'eau en Amérique Latine.

Les principales technologies utilisées sont les lagunes de stabilisation, suivi des procédés de boues activées et des réacteurs anaérobies à lits de boues (RAFA). Ces trois procédés de traitement

représentent 80% des installations comme le montre le graphique ci-dessous issus des travaux d'Alberto Noyola et al., 2012 :



**Figure 1 :** Technologies de traitement en Amérique Latine et Caraïbes (Alberto Noyola et al., 2012)

Parmi les trois technologies les plus représentées, les bassins de stabilisation et les réacteurs anaérobies à flux ascendant (RAFA) offrent les coûts d'exploitation les plus bas (demande énergétique faible). De plus, les RAFA ont une faible emprise au sol (technologie compacte) qui est un avantage certain en zone urbaine. Les boues activées ont quant à elles une forte demande en énergie et sont productrices d'une quantité importante de boues, qu'il faut ensuite traiter et gérer. Cependant, cette technologie compacte permet d'atteindre une qualité d'effluent élevée lorsqu'elle est exploitée de manière adéquate.

## 1.2 Présentation et objectif du projet

### 1.2.1 Contexte de l'étude

La présente étude de faisabilité intervient dans le cadre du Programme « Eau et Assainissement dans les zones péri-urbaines de Santa Cruz et El Alto » en Bolivie. Celui-ci est financé par la Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) qui est la banque de développement allemande.

Pour la ville de Santa Cruz, le projet a pour objectif d'améliorer la qualité de vie et les conditions sanitaires des zones péri-urbaines situées au Nord de la ville. Plus spécifiquement, l'objectif vise à augmenter la capacité de traitement des eaux usées notamment dans la partie nord de la ville, aujourd'hui totalement saturée. La ville compte cinq stations de traitement des eaux usées domestiques (traitement par lagunage) où transite un volume journalier de près de 140 000 m<sup>3</sup>/j.

L'étude comprend d'un côté l'extension de la STEU Este existante et d'un autre côté la construction d'une nouvelle STEU visant à traiter les eaux usées des zones péri-urbaines nord (encore non raccordées au réseau d'assainissement de la ville). De plus, la construction de cette nouvelle STEU permettra de soulager la STEU Este qui fonctionne actuellement en surcharge ; le traitement n'y est plus efficient et les rejets vers le milieu naturel ne sont donc plus conformes à la réglementation en vigueur dans le pays.

Initialement, un premier site avait alors été identifié pour l'implantation de la nouvelle STEU, à la périphérie Nord de la ville (100 ha). Cependant, l'acquisition de celui-ci n'a pas été possible et un autre emplacement a été désigné. Ce dernier est également situé en périphérie Nord de la ville, mais la surface disponible est réduite de moitié par rapport au premier site, ce qui engendre un nouveau défi du point de vue technique et technologique, c'est-à-dire dans la recherche de solutions

technologiques compactes à des coûts d'exploitation et de maintenance abordables pour les conditions boliviennes.

La première étape pour le Consultant consiste à proposer différentes alternatives pour chaque station afin de permettre aux autorités compétentes de choisir la solution technico-économique la plus appropriée pour chaque STEU. La seconde étape consistera à poursuivre les études détaillées pour chaque alternative retenue.

### 1.2.2 Présentations des différents acteurs du projet

La **Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua (EMAGUA)** est une entité du Ministère de l'Eau et de l'Environnement (MMAyA). C'est un établissement Public décentralisé créé en 2009, bénéficiant d'une autonomie de gestion administrative, financière, juridique et technique. Elle est en charge de l'exécution, du suivi et de l'évaluation des programmes et projets d'investissement au développement du Ministère.

Ainsi, dans le cas présent, elle est le Client et commanditaire de la présente étude, et est en charge de la promotion du projet.

La **Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Santa Cruz Ltda. (SAGUAPAC)** est une coopérative d'eau potable et d'assainissement de base à but non lucratif qui fournit ses services dans la ville de Santa Cruz.

La SAGUAPAC a été créé en 1979 avec les objectifs suivants : promouvoir le développement humain et améliorer la qualité de vie de ses membres à travers la gestion responsable de l'eau potable et des services d'assainissement de base. Depuis sa création, c'est l'une des entités de services de base avec une excellente réputation en Bolivie et, dans son domaine, la plus grande coopérative du pays.

La ville est alimentée en eau potable par des forages de plus de 350m de profondeur et grâce à un réseau de 4 416 km. Elle compte 1 489 997 personnes raccordées au réseau d'eau potable (225 075 raccordements). Au niveau de la collecte des eaux usées, un réseau de 1 893 km (141 526 connexions) fait converger les eaux usées domestiques vers les stations de traitement de la ville où le lagunage est largement utilisé. A ce jour, plus de 50 Mi m<sup>3</sup> d'eau par an sont traités au niveau de la ville. Le raccordement au réseau d'assainissement est largement encouragé au profit de l'abandon des fosses septiques afin d'éviter toute contamination de la nappe phréatique. Le programme « Eau & Assainissement » présenté ci-dessus vise à soutenir la SAGUAPAC dans la réalisation de ses objectifs.

**GITEC IGIP GmbH**, est société de conseil multi disciplinaire dont le siège est situé à Cologne en Allemagne, intervenant au niveau mondial, majoritairement dans les pays en voie de développement, depuis ses origines en 1954. Dans le cas présent, elle est en charge de la réalisation de l'étude de faisabilité du Programme susmentionné.

La société GITEC-IGIP compte cinq départements techniques : Eau & Assainissement, Ressources naturelles & Développement rural, Environnement & Changement climatique, Infrastructures sociales et Santé. Les services proposés couvrent la planification et l'évaluation, les études et réalisations, le renforcement institutionnel, la formation et le perfectionnement.

La société emploie 380 personnes dont 220 experts indépendants. Son chiffre d'affaire s'élève à plus de 21 Mi Euros (2017). Son réseau comprend 15 sociétés en Afrique, Asie, Europe et Amérique du Sud, ce qui permet de constituer des équipes multiculturelles avec une connaissance approfondie de chaque région. Jusqu'à ce jour, plus de 800 projets de développement ont été réalisés dans 130 pays.



**Figure 2 :** Activités à travers le monde de la société GITEC-IGIP

La **Kreditanstalt für Wiederaufbau** (KfW) est le bailleur de fonds, c'est-à-dire l'institution qui apporte le financement de cette opération. La KfW est une institution de droit public allemande qui finance l'aide publique au développement.

Au cours des dernières années, l'économie bolivienne s'est bien développée malgré divers problèmes structurels (conditions géographiques défavorables, inégalités régionales, conditions difficiles pour le secteur privé, etc.). Dans ce sens, la KfW soutient le programme de développement de la Bolivie en particulier dans deux domaines spécifiques, à savoir l'approvisionnement en eau potable, l'évacuation et le traitement des eaux usées et le développement agricole durable. D'importants investissements ont déjà été réalisés dans ces secteurs pour les populations les plus pauvres et dans les villes moyennes (comme à Sucre et Tajira). Le Programme « Eau et Assainissement dans les zones péri-urbaines de Santa Cruz et El Alto » intervient dans cette même lignée et pour la protection de l'environnement par le traitement des eaux usées avant rejet vers le milieu naturel.

### **1.3 Présentation de la ville de Santa Cruz et état actuel de son assainissement**

#### **1.3.1 Présentation des infrastructures existantes**

La ville de Santa Cruz compte aujourd'hui plusieurs stations de traitement des eaux usées domestiques et industrielles. Le traitement des eaux usées domestiques est réparti vers 5 stations d'épuration : (i) PTAR Norte 1, (ii) PTAR Norte 2 & 3, (iii) PTAR Este, (iv) PTAR Satélite et (v) PTAR Sur (démarrage de l'exploitation en 2016).

La ville comprend également une station de traitement pour les eaux usées industrielles provenant du parc industriel de la ville. Celle-ci est située sur le même site que la PTAR Este. Les systèmes de collecte sont cependant bien séparés et les eaux industrielles ne sont à aucun moment mélangées aux eaux domestiques.

De plus, il est important de préciser que le réseau d'assainissement de Santa Cruz est de type séparatif, ce qui signifie que seules les eaux usées domestiques sont collectées et amenées vers les STEU. Un réseau de caniveaux collecte les eaux de pluie, cependant cet aspect ne sera pas traité dans cette étude.

Le tableau suivant donne les caractéristiques des stations de traitement des eaux usées domestiques exploitées par la SAGUAPAC :

**Tableau 1** : Caractéristiques des stations de traitement des eaux usées domestiques exploitées par la SAGUAPAC

| N | STEU              | Surface (ha) | Volumes traités (m <sup>3</sup> /jour) | Population raccordée (hab.) |
|---|-------------------|--------------|--|-----------------------------|
| 1 | PTAR Norte 1      | 30.6         | 18 123                                 | 120 820                     |
| 2 | PTAR Norte 2 & 3  | 91 + 34      | 42 162                                 | 281 080                     |
| 3 | PTAR Este         | 66.8         | 48 000                                 | 317 947                     |
| 4 | PTAR Satellite    | 5            | 602                                    | 4 013                       |
| 5 | Nouvelle PTAR Sur | 30           | 30 000                                 | 400 000                     |

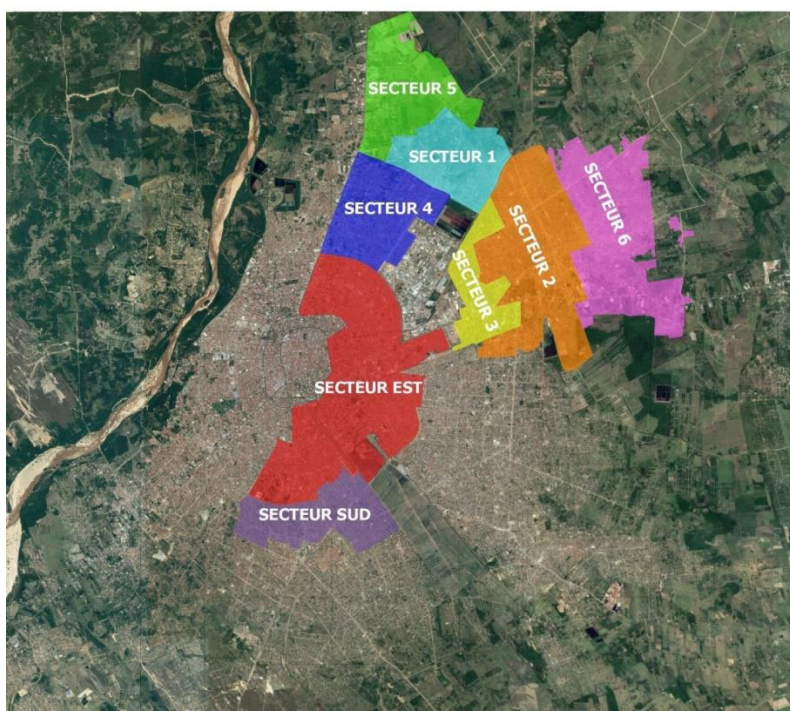
\* Données 2015 issues du 1<sup>er</sup> Rapport d'Etude de Faisabilité

Tous les systèmes de traitement de la SAGUAPAC sont basés sur des procédés de lagunage avec des exigences de surface élevées. A l'époque de leur construction, les STEU étaient situées à la limite de la zone urbaine de la ville, cependant elles se sont rapidement retrouvées entourées de zones d'habitation en raison de la forte croissance de la ville. Ainsi, les STEU Norte et Este sont arrivées à la limite de leur capacité et ne peuvent plus répondre à la demande de traitement de leurs secteurs respectifs.

Afin de pallier au problème de surcharge des STEU Norte et Este, de nouveaux investissements sont prévus par la SAGUAPAC pour la construction/extension des capacités de traitement de eaux usées domestiques :

- Construction d'une nouvelle station située au sud de la ville (PTAR Sur) prévue pour une capacité de traitement de 30 000 m<sup>3</sup>/j, entrée en exploitation en 2016 ;
- Extension de la STEU Este afin d'éviter toute surcharge et de revenir à ses performances de traitement initiales ;
- Construction d'une nouvelle station située au Nord-Est de la ville (PTAR Motacusal), pour les zones péri-urbaines actuellement non raccordées au réseau.

La figure suivante présente tous les secteurs concernés par l'étude de faisabilité à Santa Cruz :



**Figure 3** : Secteurs de la ville concernés par les stations de traitement Este et Motacusal



Actuellement, les secteurs Sud, Este & 3 et 4 sont reliés à la STEU Este. Au démarrage de l'exploitation de la STEU Sur, la partie sud (en violet sur le schéma) a été déconnectée du système Este, ce qui a permis de soulager en partie la STEU Este depuis 2016 (voir Annexe 1). Malgré cela, elle est toujours en surcharge et ne peut traiter correctement tout l'effluent.

Lors du démarrage de l'exploitation de la nouvelle station Motacusal, les secteurs 1, 2, 5 & 6 seront raccordés via la mise en place d'un nouveau réseau de collecteurs, et le secteur 4 sera déconnecté de la station de traitement Este. Ainsi, seuls les secteurs Este et 3 resteront rattachés à la STEU Este.

### 1.3.2 Présentation de la norme de rejet & état initial de la rivière

En Bolivie, la réglementation relative au rejet des eaux usées vers le milieu naturel est régie par la loi n°1333 sur l'environnement, promulguée en avril 1992 par le règlement sur la pollution de l'eau et approuvée en décembre 1995 par décret suprême n°24 176.

Selon cette loi, les rivières ou cours d'eau sont définis selon quatre classes de masse d'eau (de A à D). Le cours d'eau dans lequel seront rejetées les eaux usées traitées (Los Sauces) est classé en Classe D, ce qui est l'état le plus défavorable. En pratique, les eaux usées traitées issues de STEU sont tenues à des exigences de qualité en fonction du type d'organisme récepteur dans lequel elles seront rejetées afin de ne pas altérer la qualité de celui-ci.



**Photo 1** : Emissaire de la STEU Este (GITEC, 2018)



**Photo 2** : Futur point de décharge dans la rivière au niveau de la STEU Motacusal (GITEC, 2018)

Dans le but, de ne pas dégrader davantage la qualité de ce ruisseau, il a été convenu avec le Client qu'aucune dilution ne sera prise en compte pour la caractérisation des effluents. En ce sens, les rejets des STEU Este et Motacusal seront soumis au respect des paramètres mentionnés dans le tableau suivant, ce qui correspond aux valeurs maximales admissibles de la classe D :

**Tableau 2** : Paramètres des masses d'eau – Classe D selon la Loi 1333/92

| Paramètres             | Limites Loi 1333/92 |
|------------------------|---------------------|
| DBO <sub>5</sub>       | < 30 mg/l           |
| Matières en suspension | < 100 mg/l          |
| Azote total            | 12 mg/l c. N        |
| Coliformes fécaux      | < 5000 NMP/ 100ml   |



### 1.3.3 Normes de rejet – Comparaison avec la norme française

En Bolivie comme en France, les normes de rejet dépendent du milieu récepteur et/ou de l'utilisation future des eaux traitées.

En France, les niveaux de traitement requis sont fixés en fonction de la taille des agglomérations d'assainissement et de la sensibilité du milieu récepteur. L'Arrêté du 22 juin 2007 regroupe l'ensemble des prescriptions techniques applicables aux ouvrages d'assainissement ; il concerne tous les réseaux d'assainissement collectifs et les stations d'épuration des agglomérations d'assainissement ainsi que tous les dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge supérieure à 1.2 kg/j de DBO<sub>5</sub>. On y trouve notamment les seuils réglementaires de rejet :

**Tableau 3** : Comparaison des seuils règlementaires de rejet entre la France et la Bolivie

| Paramètres       | France<br>(charge DBO <sub>5</sub> > 1.2 kg/j) | Bolivie*   |
|------------------|--|------------|
| DBO <sub>5</sub> | 25 mg/l  | < 30 mg/l  |
| DCO              | 125 mg/l                                       | < 60 mg/l  |
| MES              | 35 mg/l**                                      | < 100 mg/l |

\* correspond aux valeurs maximum admissibles pour un milieu récepteur de classe D

\*\* pour les rejets dans le milieu naturel de bassin de lagunage, cette valeur est fixée à 150 mg/l

En France, en moyenne 93% des échantillons doivent respecter les normes de rejets. La fréquence de prélèvement dépend du paramètre analysé et de la taille de la station. En Bolivie, il n'y a pas de précision sur l'échantillonnage dans la loi en vigueur. On constate des différences entre les seuils réglementaires en France et en Bolivie. Le seuil de rejet de DBO<sub>5</sub> est relativement proche, mais on observe des différences importantes pour les paramètres DCO et MES. La réglementation bolivienne est plus stricte pour la DCO mais moins exigeante au niveau des MES.

Cette comparaison est à étudier avec précaution car les seuils de rejets indiqués dans le tableau ci-dessus pour la Bolivie concernent uniquement un milieu récepteur de classe D, qui correspond à la plus mauvaise qualité de la masse d'eau. Plus le milieu récepteur est considéré de bonne qualité, plus les seuils de rejet sont stricts.

### 1.3.4 Caractérisation des eaux usées – Analyse des données existantes

#### Approche méthodologique

*Afin de proposer des solutions de traitement fiables mais surtout adaptées à la situation de Santa Cruz, il est nécessaire de réunir toutes les données d'exploitation disponibles.*

*Au niveau de la station de traitement Este, les données de débits mensuels ainsi que le suivi des paramètres de l'effluent en entrée et sortie de station ont été mis à disposition par la SAGUAPAC. Les données sont disponibles sur la période de 2007 à 2017. De plus, des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées à toutes les étapes de traitement sur une dizaine d'années (2006 – 2015).*

*L'analyse des données d'exploitation a permis non seulement d'identifier les failles ou les dysfonctionnements au niveau de la station de traitement Este mais également de caractériser les eaux usées arrivant à la station. Des concentrations de référence pour l'effluent sont données dans les termes de référence, mais l'analyse des données d'exploitation a permis de commenter ces concentrations de base et de les ajuster si besoin.*

*De plus, l'analyse des débits arrivant la station a permis de valider nos hypothèses concernant la production d'eaux usées par habitant et par jour.*

Au niveau de la STEU Este, des données de suivi sont disponibles depuis l'année 2007 jusqu'à aujourd'hui. Ces données ont permis d'un côté, de définir les volumes moyens arrivant à la STEU ainsi que les variations au cours de l'année, et d'un autre côté, de caractériser les eaux usées domestiques arrivant à la station. Des relevés à la sortie de la station ont également été faits, ce qui a permis de vérifier l'efficacité du traitement.

Les paramètres suivants ont été analysés (entre autres) : Demande Chimique en Oxygène (DCO), Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>), Matières en Suspension totales (MES), Matières Volatiles en Suspension (MVS), Coliformes Fécaux (CF), Azote (N) et Phosphore (P).

Pour l'ensemble des paramètres, des moyennes mensuelles et annuelles ont été calculées en entrée et en sortie de station. De plus, pour chaque paramètre, la valeur du percentile 85 a été calculée, c'est-à-dire la valeur pour laquelle, dans 85% du temps, la valeur d'un paramètre est inférieure ou égale à la valeur indiquée. Selon l'Association Technique Allemande pour l'Assainissement (*DWA-A 1998, 2003*), le percentile 85 reflète la charge/concentration décisive des eaux usées qui doit être prise en compte pour le dimensionnement des procédés de traitement. Ces différentes valeurs sont présentées en détails en Annexe 3).

A partir de ces données, le rendement de la STEU Este a été calculé et la qualité des rejets comparée avec la réglementation en vigueur dans le pays :

**Tableau 4** : Rendement moyen observé à la STEU Este entre 2007 et 2017

|               | DCO<br>(mg/l) | DBO <sub>5</sub><br>(mg/l) | MES<br>(mg/l) | MVS<br>(mg/l) | NTK<br>(mg/l) | N-NH4<br>(mg/l) | Coliformes<br>fécaux<br>(CF/100 ml) | P<br>(mg/l) |
|---------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------|
| Entrée        | 879           | 393                        | 681           | 595           | 112           | 71              | 8.13E+07                            | 43          |
| Sortie        | 240           | 73                         | 533           | 294           | 83            | 60              | 4.37E+04                            | 38          |
| Norme (mg/l)  | < 60          | < 30                       | < 100         |               | < 2           |                 | 5000 CF/100ml                       |             |
| Rendement (%) | 73%           | 81%                        | 22%           | 51%           | 26%           | 16%             | 99.9%                               | 11%         |

Les rendements observés sur la station de traitement Este sont correctes pour un système de traitement pas lagunage (81% de réduction de la DBO<sub>5</sub>). Le phosphore et l'azote ne sont pas traités. L'abattement des matières en suspension est également faible et correspond aux lacunes observées dans la gestion des boues (extraction essentiellement). Dans tous les cas, le traitement en place (lagunage) ne permet pas d'atteindre les objectifs de traitement requis par la législation en vigueur.

Cette situation peut s'expliquer soit par un choix de process inadapté aux caractéristiques des eaux usées domestiques de la ville soit par une surcharge au niveau de la station (débit plus important, charge plus importante, mauvais entretien des lagunes, etc.).

### 1.3.5 Evolution démographique et zonage de la ville de Santa Cruz

#### Approche méthodologique

La définition du nombre de personnes qui seront reliées aux différentes stations de traitement de la ville est primordiale pour le dimensionnement des STEU à un horizon donné. Non seulement, il faut anticiper le développement de la population par secteur mais également définir les zones qui seront raccordées à chaque STEU.

Pour cela, deux approches de calcul ont été développées dans le paragraphe suivant afin de définir l'évolution de la population dans la zone du projet. Celle-ci a été estimée en tenant compte des informations suivantes :

- Données officielles issues des différents recensements du pays en utilisant les taux de croissance correspondants,

- *Données provenant de la SAGUAPAC sur le nombre de raccordements existants aux réseaux d'eau et d'assainissement et selon la stratégie d'expansion (Plan Directeur à l'horizon 2040).*

Sur la base du dernier recensement en Bolivie, réalisé en 2012, la ville de Santa Cruz de la Sierra comptait 1 442 396 habitants. Sa population est considérée urbaine à 99%. La croissance démographique a un caractère éminemment expansif et se caractérise par l'apparition de nouvelles zones de développement, notamment dans les zones péri-urbaines de Santa Cruz.

Comme décrit au point 1.3.1, au démarrage de l'exploitation de la nouvelle STEU, cinq secteurs seront raccordés à celles-ci (1, 2, 4, 5 & 6) alors que les secteurs Est & 3 resteront rattachés à la station existante Este.

**Méthode 1 : Croissance démographique sur la base des données statistiques :**

D'après le dernier recensement (INE, 2012), la population de la zone d'étude s'élève à 608 819 habitants et est répartie comme suit : (i) 404 387 habitants sont connectés à la station d'épuration existante ESTE, ce qui correspond aux secteurs Sud, Est, 3 & 4 et (ii) 204 431 habitants qui seront connectés à la future STEU, correspondant aux secteurs 1, 2, 5 & 6.

Selon les taux de croissance définis à partir des recensements effectués entre 1953 et 2012 en Bolivie (6 au total), la population (estimée) qui sera raccordée à la nouvelle STEU Motacusal sera de 480 699 personnes à l'horizon 2041. Les taux de croissances appliqués pour les différentes périodes de projection sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5 :** Taux de croissance appliqués à la population de Santa Cruz

|               | 2012 - 2016 | 2016 - 2026 | 2026 - 2036 | 2036 - 2041 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tous secteurs | 4.99 %      | 1.98 %      | 1.09 %      | 1.32 %      |
| Secteur 6     | 7.49 %      | 2.97 %      | 1.64 %      | 1.98 %      |

Le cas du Secteur 6 est particulier et sera traité différemment, c'est à dire que les taux de croissance pour cette partie de la ville ont été augmentés de 50% car l'espace disponible est conséquent et une forte expansion de ce secteur est attendue dans le futur.

**Méthode 2 : Croissance démographique sur la base des données de la SAGUAPAC (basée sur l'évolution des raccordements au réseau d'assainissement) :**

Au cours des dix dernières années, la SAGUAPAC a réalisé 7 425 nouveaux branchements/an au réseau d'assainissement, dont 90% correspondaient à des nouveaux projets et 10% à une évolution normale de la population et donc des raccordements. Par ailleurs, la SAGUAPAC considère que la densité de saturation est atteinte à partir de 75 habitants/ha.

Les données fournies par la SAGUAPAC sur le nombre de branchements au réseau d'assainissement et la superficie des zones de contribution sont celles de l'année 2016. Le nombre de 7 425 nouveaux raccordements par an a été ventilé par secteur en fonction de leur taille (cf. le tableau ci-dessous). La superficie totale des secteurs considérés est de 12 296 ha.

**Tableau 6** : Répartition du nombre de raccordements par secteur

| SECTEUR     | % surface | Connexions / secteur | 10 % Connexions / secteur |
|-------------|-----------|----------------------|---------------------------|
| Secteur Est | 0,25      | 1.836,07 / an        | 183,61 / an               |
| Secteur 1   | 0,06      | 478,62 / an          | 47,86 / an                |
| Secteur 2   | 0,14      | 1.052,12 / an        | 105,21 / an               |
| Secteur 4   | 0,10      | 710,20 / an          | 71,02 / an                |
| Secteur 3   | 0,07      | 492,93 / an          | 49,29 / an                |
| Secteur 5   | 0,13      | 943,90 / an          | 94,39 / an                |
| Secteur 6   | 0,26      | 1.911,17 / an        | 191,12 / an               |

Selon le tableau ci-dessus, un nombre de nouveaux raccordements a été attribué à chaque secteur et ce taux est appliqué jusqu'à ce que la densité atteigne 75 habitants/ha. Lorsque celle-ci est atteinte (saturation), la croissance appliquée ne sera que de 10% dans le secteur en question (cf. Annexe 2). On considère 6 habitants par connexion.

Au niveau de la STEU Motacusal, à partir de l'année 2033, tous les secteurs considérés ont atteint la densité de saturation, ainsi la croissance démographique jusqu'en 2041 est lente.

#### **Comparaison des deux méthodes :**

Le tableau suivant donne les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul :

**Tableau 7** : Evolution de la population de Santa Cruz

| <b>Méthode 1 : basée sur les données statistiques officielles (INE, 2012)</b> | <b>2016</b>    | <b>2029</b>    | <b>2041</b>      |
|---|----------------|----------------|------------------|
| STEU Este   | 404 387        | 402 822        | 464 030          |
| STEU Motacusal  | 204 431        | 400 059        | 480 699          |
| <b>Total Este + Motacusal</b>   | <b>608 818</b> | <b>802 881</b> | <b>944 729</b>   |
| <b>Méthode 2 : basée sur la stratégie SAGUAPAC</b>                            | <b>2016</b>    | <b>2029</b>    | <b>2041</b>      |
| STEU Este   | 392 610        | 375 857        | 392 626          |
| STEU Motacusal  | 176 946        | 593 197        | 681 363          |
| <b>Total Este + Motacusal</b>   | <b>569 556</b> | <b>969 054</b> | <b>1 073 989</b> |

Le détail des calculs par secteur à différentes étapes jusqu'à l'horizon du projet sont présentés en Annexe 2.

Quel que soit la méthode, la population raccordée au niveau de la STEU Este varie peu. Cela s'explique notamment par le fait, que dès la mise en exploitation de la nouvelle station, tout un secteur sera déconnecté (secteur 4). Cette partie de la ville étant déjà proche de la densité de saturation, la croissance projetée sera relativement faible notamment pour les projections sur la base des nouvelles connexions. La croissance sur la base des données statistiques de recensement est plus importante car celle-ci ne tient pas compte de la densité, et on observe ainsi un écart d'environ 70 000 habitants entre les deux méthodes.

Pour la nouvelle STEU Motacusal, la différence de population à l'horizon du projet est relativement importante (env. 200 000 habitants). Les projections de population sur la base des données de connexions futures sont soutenues par le Plan Directeur de la SAGUAPAC pour 2040. Ainsi, les valeurs obtenues seront considérées comme réalistes en accord avec la capacité de développement et d'investissement de l'opérateur.

Après analyse des résultats de la comparaison des deux méthodes d'estimation de la population pour la zone du projet, la projection des connexions futures permet de s'approcher le plus des conditions

réelles des plans de la SAGUAPAC. Ainsi, la méthode 2 est retenue pour les paramètres de dimensionnement.

### 1.3.6 Conditions climatiques

Pour le dimensionnement d'une station de traitement basé sur un process biologique, les conditions climatiques ont une importance toute particulière.

La ville de Santa Cruz a un climat caractéristique des plaines de l'est de la Bolivie, c'est-à-dire marqué par un climat subtropical chaud avec des températures élevées pendant l'été (octobre à mars) avec des températures moyennes autour de 26°C et des températures moyennes pendant l'hiver (juin et juillet) autour de 20°C. Le tableau suivant présente les températures moyennes enregistrées entre 1985 et 2014 :

**Tableau 8** : Températures moyennes enregistrées à Santa Cruz (1985 – 2014)

|                    | Jan. | Fév. | Mars | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Moy.        |
|--------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------------|
| <b>T° minimale</b> | 25,6 | 25,2 | 24,9 | 23,1  | 18,9 | 18   | 16,6  | 20,3 | 21,4  | 24,2 | 24,8 | 23,4 | <b>23,2</b> |
| <b>T° moyenne</b>  | 26,4 | 26   | 25,8 | 24,3  | 21,7 | 20,7 | 20,2  | 22,4 | 24,1  | 25,8 | 26,2 | 26,2 | <b>24,1</b> |
| <b>T° maximale</b> | 28,1 | 27,2 | 27,3 | 25,7  | 23,8 | 22,9 | 23,4  | 24,2 | 27    | 28,1 | 28   | 27,8 | <b>24,7</b> |

Les précipitations enregistrées au cours des 40 dernières années (1972 – 2010) ont varié entre 867 et 2 320 mm/an. Les valeurs de pluviométrie moyenne mensuelle sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 9** : Pluviométrie moyenne enregistrée à Santa Cruz

|                    | Jan.  | Fév.  | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Moy.           |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| <b>Pluvio (mm)</b> | 199,2 | 171,3 | 141,7 | 114,7 | 95,9 | 75,5 | 53,9  | 49,4 | 73,7  | 113,1 | 161,1 | 189,5 | <b>1.438,8</b> |

Dans cette région de Bolivie, les étés sont chauds et humides. Les précipitations les plus importantes sont observées entre octobre et mars.

## 2 TRAITEMENT DES EAUX USEES ET TRAITEMENT DES BOUES

### Approche méthodologique

*La seconde partie de la recherche bibliographique s'est axée sur les technologies de traitement existantes à travers le monde et plus spécifiquement, utilisées dans cette région du monde (lagunage, lits bactériens, etc.) ainsi que les performances de celles-ci, dans les conditions climatiques particulières.*

*Les principales étapes du traitement de la pollution carbonée et azotée sont décrites, les paramètres de conception donnés ainsi que les réactions physiques, biologiques et chimiques. De plus, les étapes de traitement des boues produites par le traitement des eaux usées sont également décrites pour donner toutes les options possibles et envisageables pour dans le cas de Santa Cruz.*

### 2.1 Traitement des eaux usées

Pour le traitement des eaux usées, une succession de processus chimiques, physiques et biologiques doivent avoir lieu pour atteindre les objectifs de purification. Parmi les objectifs du traitement biologique, on retiendra en particulier :

- la transformation et l'oxydation de composés organiques biodégradables dans le but d'obtenir des produits ou composés moins nocifs ;
- l'adsorption ou la sédimentation qui consiste en la rétention et l'incorporation de matières particulaires et colloïdales au sein de floccs biologiques ou de biofilm ;
- la transformation ou l'élimination des nutriments (azote, phosphore)

A Santa Cruz, l'objectif est d'abattre la pollution carbonée, ainsi que d'éliminer les organismes pathogènes. Dans un second temps, l'abattement de la pollution azotée viendra s'ajouter aux objectifs de traitement. Le traitement des eaux usées va engendrer la production de boues qu'il sera également nécessaire de gérer et traiter. La partie suivante a pour but de présenter un panorama des procédés de traitement existants, avec leurs critères de dimensionnement, leurs performances, etc.

#### 2.1.1 Dégradation de la pollution carbonée

La dégradation de la pollution carbonée est l'objectif premier du traitement des eaux usées ce qui consiste en la réduction/élimination des matières en suspension et des micro-organismes pathogènes présents dans les eaux usées. Cette dégradation s'opère par l'oxydation de la matière organique puis par la séparation gravitaire de la biomasse produite et de l'eau épurée. Ces réactions ont lieu en milieu aérobie et font intervenir des bactéries hétérotrophes aérobies.

##### 2.1.1.1 Sédimentation

La sédimentation est un processus physique de séparation liquide/solide qui intervient généralement par gravité. L'objectif est l'élimination des solides en suspension en produisant un effluent clarifié c.-à-d. avec une concentration en matière en suspension relativement faible et par l'élimination d'une substantielle portion de matière solide biologique.

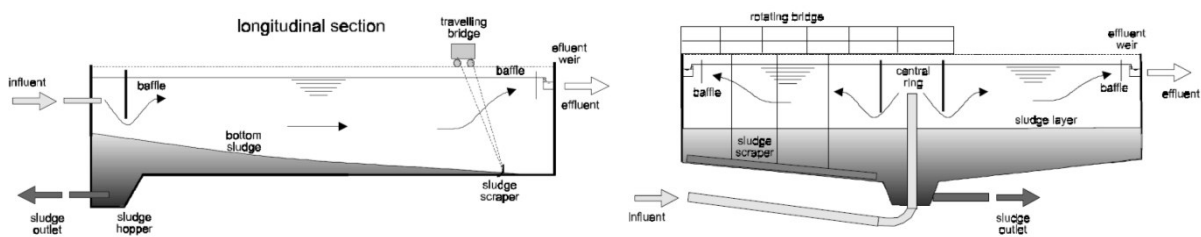
Le principe de la sédimentation est relativement simple ; il s'agit d'une séparation entre les particules solides qui ont une densité plus importante que le liquide dans lequel elles se trouvent. A une vitesse faible au sein de l'ouvrage, la décantation s'opère par gravité et l'eau clarifiée se retrouve dans la

partie supérieure de l'ouvrage alors que les particules solides s'accumulent dans le fond du réservoir pour former une couche de boues.

La sédimentation a une importance toute particulière dans le traitement des eaux usées et se retrouve à différentes étapes du traitement (*von Sperling M. & De Lemos Chernicharo C. A., 2005*) :

- à l'étape du prétraitement pour l'élimination des particules inorganiques à large dimension ;
- au niveau du traitement primaire pour la réduction des MES des eaux résiduaires urbaines brutes ;
- au niveau du traitement secondaire pour l'élimination de solides principalement biologiques ;
- après un traitement physico-chimique (décantation après une précipitation chimique) ;
- à l'étape de l'épaississement statique pour le traitement des boues, etc.

Il existe deux types de décanteurs : (i) rectangulaire avec écoulement horizontal et (ii) circulaire avec une alimentation centrale. Ils sont présentés dans les schémas ci-dessous :



**Figure 4** : Coupe d'un décanteur rectangulaire (gauche) et d'un décanteur circulaire (droite) (*von Sperling M. & de Lemos Chernicharo C. A., 2005*)

D'autre part, la décantation peut s'opérer de différentes manières : (i) simple sous l'action de la gravité, (ii) avec l'ajout de flocculant permettant de piéger même les plus fines particules, (iii) par zones ou par couches ou encore (iv) par compression c'est-à-dire sous poids des particules ajoutées continuellement. Les décantations décrites ci-dessus dépendent de la teneur en suspension solides présente dans le liquide.

Grâce à la sédimentation, on peut éliminer de 50 à 70 % des MES ainsi que 25 à 40% de la DBO<sub>5</sub> dans le cas d'une décantation primaire (*Metcalfe & Eddy, 2004*). Les performances dépendent avant tout du temps de rétention au sein de l'ouvrage et de la concentration en MES. Lors du dimensionnement, doivent être pris en considération **la surface de décantation et la profondeur** (charge surfacique exprimé en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/j), ainsi que **le temps de rétention** au sein de l'ouvrage (1,5 à 2.5 h). Cependant les effets des deux précédents paramètres sur la réduction des solides en suspension dépendent également des caractéristiques de l'affluent, de la proportion de solubles décantables et de la concentration en solides.

### 2.1.1.2 Traitement anaérobie

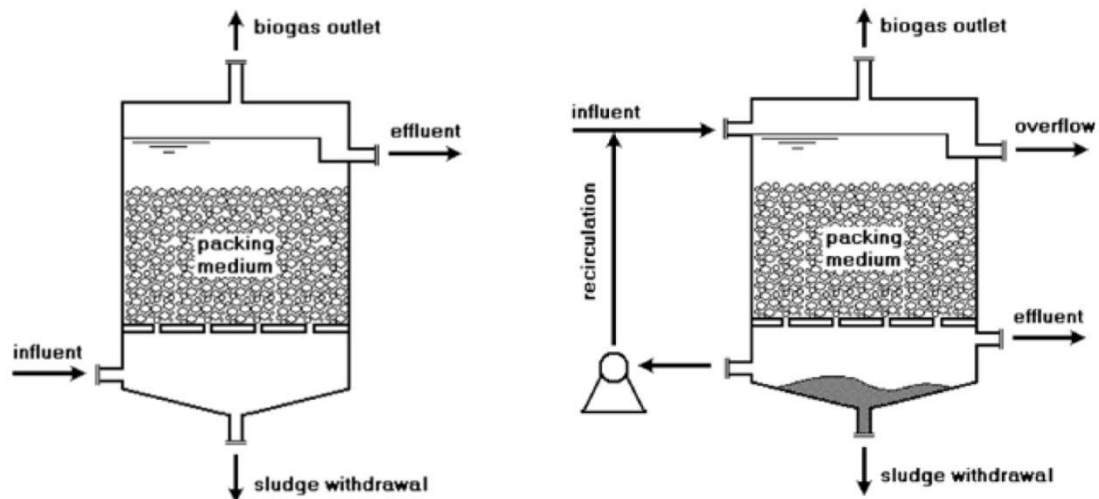
Les traitements anaérobies sont généralement utilisés comme traitement primaire ou dans le cas de petites STEU comme unité de traitement principale.

Dans le cas du traitement des eaux usées, on peut définir deux groupes de réacteurs anaérobies : les systèmes conventionnels tels que les lagunes anaérobies, les digesteurs de boues, etc. et les systèmes à haut rendement caractérisés soit par des cultures fixées où la croissance bactérienne s'effectue sur des supports inertes (de type réacteurs à lits fluidisés) soit par des bactéries en suspension sous forme de floccs ou de granules (de type RAFA) (*de Lemos Chernicharo, C.A., 2007*).

### Filtres anaérobies

Les filtres anaérobies font partis de la famille des filtres à culture fixée, c'est-à-dire qu'un biofilm se développe sur un support inerte à l'intérieur du filtre (généralement en plastique). Cependant, on retrouve également la biomasse du filtre sous forme de flocons dans les interstices du support ou encore dans le bas du filtre (sous le média).

Le débit d'eau usée circule à travers les interstices du support de manière ascendante (plus commune) ou descendante. Dans le cas d'un débit vertical ascendant, les eaux usées sont introduites dans la partie inférieure du filtre, passent à travers le média filtrant et sont récupérées en partie haute de l'ouvrage. Le média filtrant est immergé. Dans le cas d'un débit descendant, c'est l'inverse et le média filtrant peut être immergé ou non.



**Figure 5** : Schémas de filtres anaérobies à débit ascendant (gauche) et à débit descendant (droite)  
(de Lemos Chernicharo, C.A., 2007)

Les filtres anaérobies peuvent être de forme rectangulaire ou circulaire, les volumes peuvent varier de 100 à 10 000 m<sup>3</sup>. Le support de l'activité bactérienne doit occuper entre 50 et 70% de la hauteur du filtre. Il existe différents type de média, leur performance pour la rétention de la biomasse varie mais le choix final dépendra des conditions spécifiques de la région comme les conditions économiques ou d'exploitation (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007).

Les caractéristiques à prendre en compte dans ce procédé de traitement biologique sont le temps de séjour des solides dans l'ouvrage et la concentration de microorganismes dans le média. D'autre part, les critères de dimensionnement sont (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007): (i) le **temps de séjour hydraulique**, (ii) la **température** (> 25°C, les variations de température à court terme peuvent altérer l'efficacité d'élimination de la DCO), (iii) la **taille du support**, (iv) la **charge hydraulique** (6 à 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> par jour) et (v) la **charge organique** (0,15 à 0,5 kgDBO/m<sup>3</sup> par jour). De plus, le système de distribution puis de collecte de l'effluent, et l'échantillonnage de l'effluent et des boues devront faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception.

L'efficacité des filtres anaérobies peut être estimée par le temps de séjour hydraulique et les caractéristiques du support utilisé (travaux de van Haandel & Lettinga, 1994). Lorsqu'ils sont utilisés en traitement primaire, les filtres anaérobies permettent la réduction entre 68 et 79 % de la DBO<sub>5</sub> et la DCO.



### Réacteurs anaérobies à flux ascendant (RAFA)

Les réacteurs à lit de boues anaérobies à flux ascendant (RAFA) sont des unités de traitement anaérobie des eaux usées à haut débit/rendement à cultures libres. Ils sont caractérisés par des temps de rétention hydraulique court mais des temps de rétention des particules solides longs.

Les réacteurs anaérobies à flux ascendant ont des structures en béton et celles-ci sont détaillées dans le schéma ci-après :

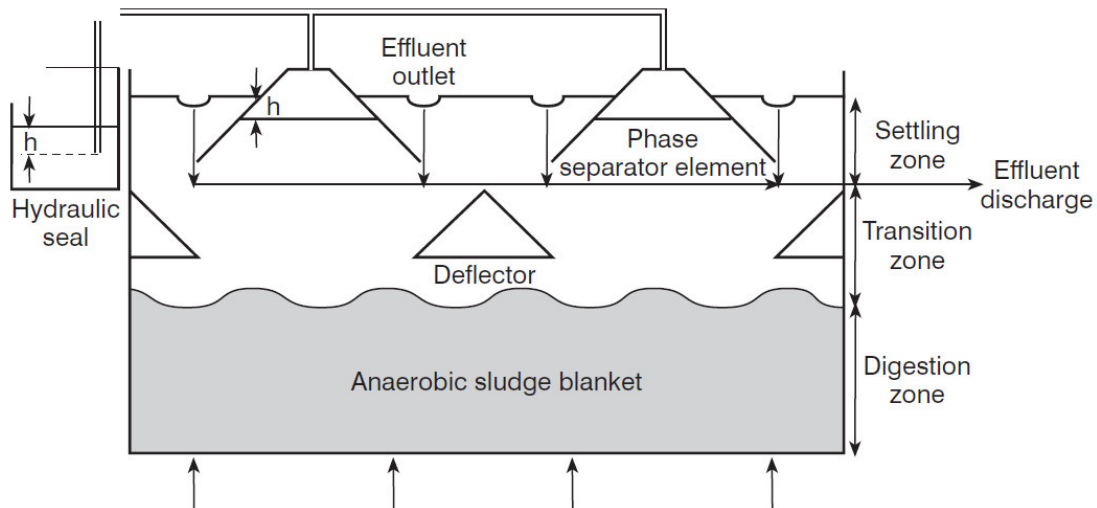


Figure 6 : Coupe schématique d'un réacteur anaérobie à flux ascendant (van Haandel & Lettinga, 1994)

Les eaux usées brutes, après pré traitement sont distribuées aussi uniformément que possible à la base du réacteur. Puis s'écoulent ensuite vers le haut à travers la couche de boue, ce qui permet d'assurer un contact intime entre les eaux usées et les bactéries anaérobies présentes dans les boues de manière à favoriser les réactions biochimiques anaérobies et ce, dans le but d'augmenter l'efficacité de l'élimination de la DBO<sub>5</sub>. Les boues sont denses et granuleuses de diamètre 1 à 3 mm (Metcalf & Eddy, 2004) pouvant aller jusqu'à 5 mm (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007). La consistance de ces boues permet un abattement conséquent de la teneur en solides en suspension (de l'ordre de 50 à 100 g/l en entrée de réacteur réduite à 5 à 40 g/l en sortie).

Après le passage à travers le lit de boues, les eaux usées (et quelques particules de boues) continuent leur progression ascensionnelle vers la partie appelée « séparateur de phase », spécificité de ce type de réacteur. On peut résumer la structure de ce réacteur comme suit : (i) une digestion anaérobie en partie inférieure de l'ouvrage et (ii) une décantation simple/par gravité en partie supérieure de réacteur.

Au fur et à mesure que la suspension eaux usées-boues monte à travers la zone de décantation, sa vitesse d'écoulement vers le haut diminue car, en raison de la surface inclinée du séparateur de phase, la surface d'écoulement augmente et les particules de boues en suspension se déposent, principalement sur les côtés inclinés du séparateur de phase. Les particules de boues s'accumulent et lorsque leurs poids est assez important, celles-ci retombent dans la couche de boue dans la partie inférieure de l'ouvrage. Le séparateur de phase maintient ainsi une concentration élevée de particules de boues dans la zone inférieure du réacteur et permet d'évacuer du réacteur un effluent à très faible concentration en solides en suspension. Les bulles de biogaz sont récupérées au niveau de la phase de séparation (celles-ci ne doivent pas entrer dans la phase de décantation).

Les séparateurs présents dans le réacteur permettent de délimiter la zone de digestion et de décantation (15 – 20 % du volume total, Mara D., 2003) mais également de séparer les 3 phases qui interviennent au sein de cet ouvrage, à savoir liquide, solide et gazeuse.

Outre les caractéristiques des eaux usées, les critères à prendre en compte dans le dimensionnement sont :

- la **charge organique volumétrique** et le **temps de séjour hydraulique** (compris dans un intervalle de 6 – 12h (Mara D., 2003) ou plus restrictif de 8 – 10 (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007)) ;
- la **charge organique** (doit rester inférieure à 15 kg DCO/m<sup>3</sup>/jour, (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007)) ;
- la **vitesse ascensionnelle**, qui doit être comprise entre 0.8 et 1 m/h pour les eaux usées domestiques (Mara D., 2003 et Metcalf & Eddy, 2004) avec des pics tolérés entre 1.5 à 2 m/h pendant 2 à 4h (de Lemos Chernicharo, C.A., 2007) et le **volume du réacteur** limité à 1 000 m<sup>3</sup> (Mara D., 2003).

L'efficacité des RAFA pour l'élimination de la pollution carbonée se situe autour de 70% ; entre 85 et 95% d'élimination de la DCO selon Metcalf & Eddy (2004) et entre 65 et 75 % d'élimination de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> selon de Lemos Chernicharo, C.A., (2007). Selon Mara D. (2003), les RAFA permettent d'atteindre 70% d'élimination DBO<sub>5</sub> en 6h (ce qui est le même résultat d'une lagune anaérobie en 1 journée à une T° de 25°).

### 2.1.1.3 Procédés à cultures fixées : lits bactériens

Les lits bactériens sont un procédé de traitement secondaire utilisé depuis près d'un siècle à travers le monde. Ils sont utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques et industrielles. Il s'agit d'un procédé aéré (ventilation naturelle en principe) pour l'élimination de la DBO<sub>5</sub> uniquement ou alors pour traiter de manière combinée l'élimination de la DBO<sub>5</sub> et la nitrification. Dans un procédé de traitement par lits bactériens, un clarificateur est toujours installé en aval (cf. Figure 8).

Au sein des procédés à cultures fixées, on peut trouver différents systèmes de traitement tels que non immergés ou sur un support fixe et immergé. Le média le plus utilisés au cours du siècle dernier est la pouzzolane, mais aujourd'hui on peut trouver différents types de média, en plastique en majorité.

Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques, où les eaux usées ruissellent en continu. L'eau usée est distribuée via des bras rotatifs sur la partie supérieure de l'ouvrage et le traitement de l'eau usée s'opère lors de l'écoulement sur le biofilm. Le biofilm se développe sur le support dans les lits bactériens et contient les microorganismes nécessaires à la dégradation des substrats à éliminer du liquide s'écoulant sur le support (Metcalf & Eddy, 2004).

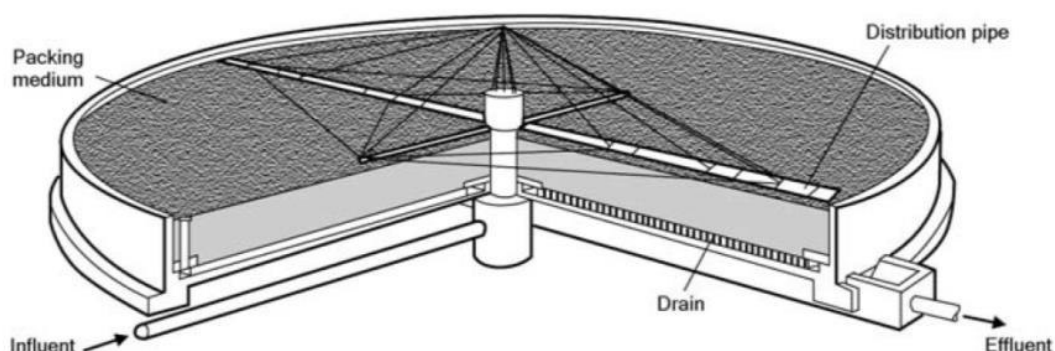


Figure 7 : Schéma d'un lit bactérien avec système de distribution rotatif (Metcalf & Eddy, 1991)

Les bactéries aérobies et facultatives prennent part au processus. Les bactéries facultatives sont les plus nombreuses et leur rôle est la décomposition de la matière organique. Celle-ci est adsorbée sur le film biologique jusqu'à sa stabilisation. A la surface de la couche du biofilm, la matière organique

est dégradée par des microorganismes aérobies. A mesure que les micro-organismes se développent et que l'épaisseur de la couche visqueuse augmente, l'oxygène est consommé avant qu'il puisse pénétrer dans les profondeurs internes du biofilm, et un environnement anaérobie est établi proche de la surface du support. Les bactéries entrent dans un état de respiration endogène et perdent leur capacité à s'accrocher à la surface du biofilm. Le flux d'eau usée arrache ensuite le biofilm et une nouvelle couche commence à se former. Ce phénomène de perte du biofilm s'appelle l'engorgement et est principalement fonction de la charge organique et hydraulique sur le filtre.

Dans la partie supérieure du lit bactérien, les bactéries sont en majeure partie des hétérotrophes, et aussitôt que tout ou partie du carbone est éliminé, alors les bactéries autotrophes se développent dans la partie inférieure du lit, et la nitrification peut alors commencer dans le cas où l'on traite la pollution carbonée et la pollution azotée.

Une recirculation de l'effluent depuis la sortie du clarificateur est pratiquée afin que le lit bactérien soit alimenté en permanence, afin d'assurer une charge hydraulique suffisante mais également dans certains cas, pour obtenir une concentration en  $DBO_5$  proche de 100 mg/l (c'est-à-dire dans le cas où les eaux entrantes sont fortement chargées et qu'une dilution est nécessaire pour ne pas obstruer le lit bactérien).

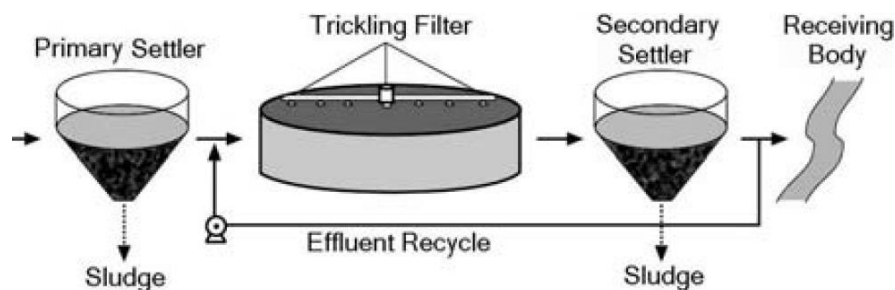


Figure 8 : Schéma type d'un lit bactérien avec recirculation (von Sperling M., 2007)

Lors de la conception, les critères suivants sont à prendre en compte (von Sperling M., 2007) : (i) **charge hydraulique**, (ii) **charge organique**, (iii) **système d'arrivée de l'affluent** (distribution & rotation), (iv) **média**, (v) **système de collecte en dessous du filtre**, (vi) **ventilation**, (vii) **décantation secondaire**, (viii) **élimination de la  $DBO_5$** , (ix) **production de boues**.

Les performances attendues pour la réduction de la  $DBO_5$  sont comprises entre 70 et 80% (von Sperling M., 2007).

Les lits bactériens présentent un intérêt certain par rapport aux boues activées par exemple, en termes de consommation énergétique, une exploitation simplifiée (sans recirculation de boues à gérer) et une qualité de boues indéniable pour l'épaississement. Cependant, ils n'offrent pas les mêmes caractéristiques de l'effluent en termes de  $DBO_5$  et de concentration en MES, et sont sensibles aux basses températures ce qui peut affecter leurs performances.

#### 2.1.1.4 Procédés à cultures libres : boues activées

Dans le traitement biologique, les boues activées sont aujourd'hui l'un des procédés les plus largement utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques et industrielles, en particulier dans les situations où les caractéristiques attendues de l'effluent sont élevées/strictes et où l'espace disponible est limité (von Sperling M., 2007).

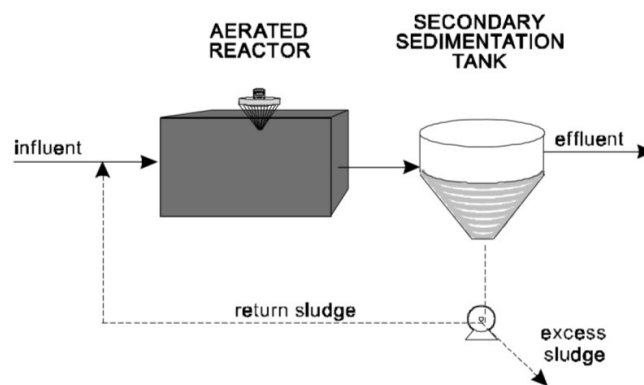
En premier lieu, le traitement par boues activées a pour objectif l'élimination de la pollution carbonée (par oxydation de la matière organique) et éventuellement selon les installations prévues, l'élimination de la pollution azotée (nitrification).

Le traitement par boues activées se déroule généralement en deux étapes. Tout d'abord dans un réacteur aéré où les microorganismes sont maintenus en suspension et aérés ( $O_2$  disponible). Les réactions biochimiques associées à l'élimination de la matière organique et de la matière azotée, ont lieu dans le réacteur biologique. La biomasse se développe en utilisant le substrat présent dans les eaux usées entrantes. L'aération du bassin permet de fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation de la pollution carbonée par les bactéries. Celle-ci peut être réalisée de deux manières : soit par injection d'air (bulles de tailles variables injectées via des diffuseurs dans le fond du bassin) ou par brassage de l'air de surface afin de permettre un transfert air/eau.

La seconde étape se déroule dans un clarificateur aval pour la séparation liquide/solide. Les particules solides s'accumulent dans le fond du bassin de sédimentation secondaire et une partie sera recirculée vers le réacteur afin de permettre l'apport des microorganismes nécessaire à la dégradation de la matière organique mais aussi de maintenir une forte concentration de biomasse dans le réacteur, ce qui est la raison du rendement élevé du système.

Cependant, afin de ne pas compromettre le fragile équilibre de la biomasse présente dans le système, une partie des boues (appelées boues biologiques en excès) doit être évacuée et doit représenter la même quantité issues de la reproduction des microorganismes.

Le principe est illustré dans la figure ci-après :



**Figure 9** : Schéma classique boues activées (von Sperling M., 2007)

La caractérisation des eaux usées à traiter est sûrement le point le plus délicat du dimensionnement d'une boue activée et cela dans le but d'évaluer les performances du système. Cependant, les éléments suivants sont également à prendre en compte (Metcalf & Eddy, 2004) :

- le volume du bassin d'aération,
- la quantité de boues produites et l'âge des boues présentes dans le système,
- la quantité d'oxygène nécessaire,
- la concentration des paramètres importants dans l'effluent.

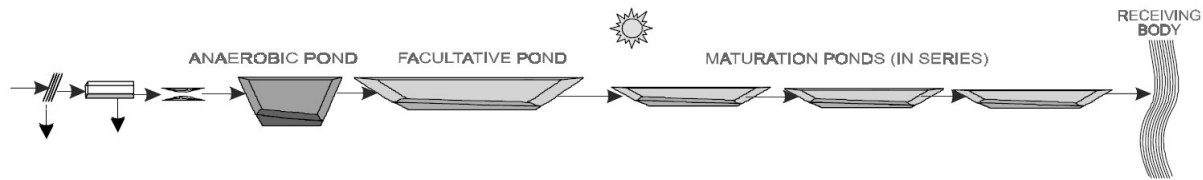
Dans un système classique/conventionnel de boues activées, on peut attendre une réduction de 85 à 95 % de la  $DBO_5$  et des MES (von Sperling M., 2007).

Malgré leurs performances indéniables, ces systèmes de traitement sont néanmoins lourdement mécanisés, ce qui implique des opérations pointues et donc le personnel adéquat associé. De plus, ils sont généralement associés à une forte consommation en énergie électrique pour l'aération.

#### **2.1.1.5 Procédés à cultures libres : lagunage**

Le lagunage est la forme de traitement des eaux usées la plus simple pour l'élimination de la pollution carbonée. Il existe différents types de lagunes et différentes configurations peuvent être envisagées en fonction du traitement recherché (les critères sont susceptibles de varier également).

Le lagunage est un procédé de traitement qui est hautement recommandé en régions chaudes et dans le pays en voie de développement pour les raisons suivantes : (i) les conditions climatiques favorables, à savoir les hautes températures et l'ensoleillement, (ii) l'exploitation relativement simple, (iii) le peu ou pas d'équipement du tout et enfin, (iv) dans la majorité des cas, la disponibilité des terrains (von Sperling M., 2007).



**Figure 10** : Disposition typique d'un système de lagunage : lagune anaérobie, lagune facultative et lagunes de maturation en série (von Sperling M., 2007)

La combinaison lagune anaérobie et lagune facultative permet un abattement de la DBO<sub>5</sub> entre 75 et 85 % et un abattement des MES entre 70 et 80% (von Sperling M., 2007). Entre 50 et 70% de la DBO<sub>5</sub> est convertie dans la lagune anaérobie, puis un affinage est opéré dans la lagune facultative.

Les lagunes de maturation interviennent dans le système généralement en post-traitement (dans le cas du traitement de la pollution carbonée), pour l'élimination des organismes pathogènes, en particulier les coliformes fécaux et les œufs d'helminthes. En effet, ces lagunes regroupent toutes les conditions préjudiciables à la vie ou à la croissance de ces organismes, à savoir : le rayonnement UV, un pH élevé, température basse, manque de nutriments, etc.

La succession de lagune anaérobie, lagune facultative et lagunes de maturation en série permet un abattement de la DBO<sub>5</sub> entre 80 et 85%, des MES de 73 à 83% et des coliformes fécaux de 99.9% (von Sperling M., 2007).

### **Lagunes anaérobies**

La lagune anaérobie intervient en général en début de traitement et est recommandé pour le traitement des eaux usées ayant des concentrations en DBO<sub>5</sub> élevées. La particularité de ces lagunes est la présence de conditions anaérobies strictes. L'élimination de la DBO<sub>5</sub> est obtenue par la sédimentation des matières solides décantables et de leur digestion anaérobie subséquente dans la couche de boues résultante. Au départ, il y a une conversion de la matière organique en d'autres formes plus simples, puis la DBO<sub>5</sub> est éliminée quand la matière organique est convertie essentiellement en méthane et dioxyde de carbone (cf. 2.1.1.2 Traitement anaérobie).

Les critères de dimensionnement relatifs à la lagune anaérobie sont (Mara D. D., 2004 & von Sperling M., 2007) : (i) **la charge volumétrique**, (ii) **le temps de rétention**, (iii) **la profondeur** et (iv) **la géométrie** (ratio longueur/largeur). La charge volumétrique est intimement liée à la température, plus celle-ci est élevée, plus la charge peut être importante : 0.1 à 0.3 kgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/j (Mara D. D., 1997). En effet, la température a une influence positive sur la croissance de la biomasse d'où l'intérêt de ce procédé en régions chaudes. Le temps de rétention est généralement compris entre 3 et 6 jours et correspond au temps nécessaire à la reproduction des bactéries anaérobies. Enfin, la profondeur de la lagune doit être suffisante afin que les conditions anaérobies prédominent en réduisant la pénétration de l'oxygène produite en surface (entre 3,5 et 5m).

### **Lagunes facultatives**

Le temps de séjour dans la lagune facultative est relativement long car il doit permettre au processus de stabilisation de la matière organique de se mettre en place. Ce séjour est long afin que la réduction soit complète. Les algues présentes dans la lagune ont une importance toute particulière

car elles assurent la photosynthèse ; elles utilisent l'énergie solaire pour produire de l'oxygène (consommation de CO<sub>2</sub>). Elles permettent ainsi la respiration des bactéries qui consomme l'oxygène produit (production de CO<sub>2</sub>). La matière organique est elle-même oxydée par la respiration des bactéries.

Les critères de dimensionnement relatifs à la lagune facultative sont relativement identiques à ceux de la lagune anaérobie (Mara D. D., 2004 & von Sperling M., 2007) : (i) **la charge surfacique** (kg/ha/j), (ii) **le temps de rétention**, (iii) **la profondeur** et (iv) **la géométrie** (ratio longueur/largeur). La surface de la lagune doit être suffisamment grande pour capter le maximum d'ensoleillement et ainsi garantir la photosynthèse. Et pour garantir une bonne photosynthèse, il faut un bon taux de croissance des algues et donc assez d'oxygène. La lagune n'est pas très profonde, entre 1.5 et 2m car la zone anaérobie dépend de la pénétration des rayons du soleil. Le temps de rétention est quant à lui plutôt élevé et se situe entre 15 et 45 jours.

### **Lagunes de maturation :**

L'objectif principal des lagunes de maturation est d'opérer une désinfection en réduisant le nombre d'organismes pathogènes, principalement les bactéries fécales et les virus. (Mara, D.D., 2003). Les bassins de maturation constituent une alternative économique à la désinfection de l'effluent.

L'environnement idéal pour ces organismes pathogènes est l'intestin humain. Dès lors qu'ils sont dehors, ils ont tendance à mourir et plusieurs facteurs y contribuent tels que : la température, le rayonnement solaire, le pH, le manque de nutriments, les organismes prédateurs, etc. (von Sperling M., 2007).

Les critères de dimensionnement des bassins de maturation sont : (i) **le temps de rétention**, (ii) **la profondeur**, (iii) **le nombre de lagunes** et (iv) **la géométrie**. D'autre part, afin d'obtenir des rendements élevés, le régime hydraulique choisi a une importance toute particulière. Il existe deux types de configurations : les bassins à chicanes ou les bassins en série. La faible profondeur (entre 0.8 et 1m) se justifie par une meilleure pénétration du rayonnement solaire (UV), un pH élevé dû à une forte activité de photosynthèse et à une forte concentration en oxygène favorisant l'activité de la communauté aérobie qui est plus efficace dans l'élimination des coliformes (von Sperling M., 2007). Le temps de rétention est quant à lui au minimum de 3 jours par lagunes.

L'efficacité du traitement des organismes pathogènes est fonction de la température, du temps de rétention, de la profondeur ainsi que du ratio longueur/largeur.

## **2.1.2 Dégradation de la pollution azotée**

La dégradation de la pollution azotée est un processus qui se déroule en quatre étapes, et en milieu aérobie et anoxique. Les différentes étapes sont les suivantes :

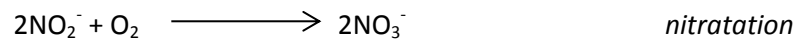
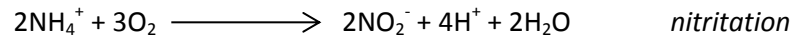
- **Ammonification** : transformation de l'azote organique en azote ammoniacal,
- **Assimilation** de l'azote ammoniacal par les bactéries,
- **Nitrification** : oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrate en présence d'oxygène,
- **Dénitrification** : réduction des ions nitrates (issus de l'étape précédente) en diazote gazeux.

### **2.1.2.1 Nitrification**

La nécessité de nitrification dans le traitement des eaux usées découle des préoccupations relatives à la qualité de l'eau concernant d'une part les effets de l'ammoniac sur les eaux réceptrices, et d'autre

part le contrôle du niveau l'azote dans l'effluent pour les eaux qui seront réutilisées ou encore pour limiter le phénomène d'eutrophisation.

La nitrification est un processus biologique qui se déroule en deux étapes qui consiste à oxyder l'azote ammoniacal en en nitrites (nitritation) qui seront eux-mêmes oxydés en nitrates (nitratation) telle que décrit par les équations ci-après :



Ce processus se déroule en présence d'oxygène et fait intervenir des bactéries autotrophes aérobies (telles que les *Nitrosomas* puis *Nitrobacter*) qui utilisent l'ammonium ou les nitrites comme source d'énergie. Ces bactéries qui ont un taux de croissance faible et ont besoin de phosphore et de CO<sub>2</sub> pour leur croissance cellulaire.

La nitrification et l'élimination de la DBO<sub>5</sub> peuvent être réalisées conjointement dans des procédés biologiques impliquant des boues activées (cultures fixes ou libres). Comme indiqué précédemment les bactéries impliquées dans la nitrification ont un taux de croissance lent (en comparaison avec les bactéries hétérotrophes), c'est pourquoi il est nécessaire de prévoir des temps de rétention hydraulique ainsi que des temps de rétention des solides plus long que si on traitait uniquement la pollution carbonée.

Dans la conception d'un système biologique de nitrification, la concentration en azote et en DBO<sub>5</sub> de l'effluent, l'alcalinité, la température et le potentiel toxique des composants des eaux usées sont des paramètres à prendre en compte (*Metcalf & Eddy, 2004*).

Afin que les conditions de nitrification soient optimales, il est recommandé un **pH proche de la neutralité**. Cet aspect peut être d'une grande importance pour la performance de nitrification adéquate dans un système à boues activées. Les taux de nitrification optimaux se produisent à des valeurs de pH de l'ordre de 7,5 à 8. Un pH de 7 à 7,2 est normalement utilisé pour maintenir des taux de nitrification raisonnables. Les taux diminuent de façon significative lorsque le pH est inférieur à 6,8 (*Metcalf & Eddy, 2004*). La réaction de nitrification est responsable de la diminution du pH. La réaction génère des ions H<sup>+</sup> comme produits finaux qui sont responsables de l'agglomération des hydrogénocarbonates, eux-mêmes liés à la dureté de l'eau et donc à la réduction du pH. La diminution du pH est fonction du pouvoir tampon du milieu ou, en d'autres termes, de son alcalinité.

D'autre part, la **température ne doit pas descendre en dessous de 12°** et l'**absence de composés toxiques** font partis des paramètres à ne pas négliger. Les vitesses de réactions et donc les rendements peuvent chuter rapidement si on s'écarte des conditions optimales (les bactéries nitrifiantes étant sensibles).

### 2.1.2.2 Dénitrification

La dénitrification biologique est l'achèvement du traitement de la pollution azotée et consiste en une réduction des ions nitrates (issus de la nitrification) en diazote gazeux comme suit :

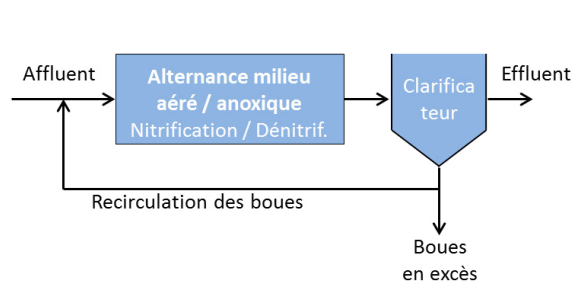


Ce processus se déroule en l'absence d'oxygène et fait intervenir des bactéries hétérotrophes strictes anaérobies facultatives c'est-à-dire qu'en l'absence d'oxygène, elles utilisent les nitrates pour leur respiration. Il est donc important de veiller à ce que celles-ci ait un apport en carbone suffisant. En fonction de la caractérisation des eaux usées, une source de carbone extérieure pourrait être nécessaire. Au contraire, si le rapport des composés organiques sur les composés azotés est

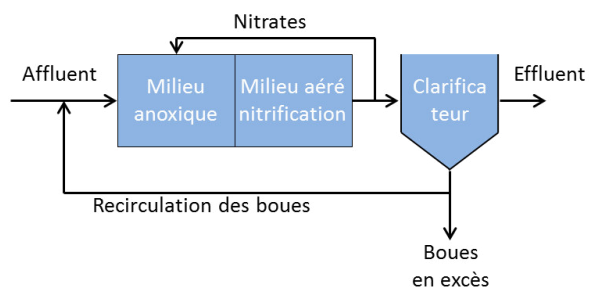
supérieur à 4 ( $DBO_5 / NTK > 4$ ), alors on peut considérer que le carbone organique présent dans les eaux usées sera suffisant pour la dénitrification.

Dans le cas où un traitement anaérobie en amont est opéré, la  $DBO_5$  est déjà largement décomposé et le rapport des composés organiques divisés par composés azotés se détériore, ce qui implique un plus long délai pour la réduction des nitrates.

Il existe deux possibilités pour la mise en œuvre de la dénitrification : soit (i) dans un bassin unique par syncopage de l'aération, soit (ii) dans deux bassins distincts avec zone d'anoxie en tête. Les schémas suivants illustrent les deux options envisageables :



**Figure 11** : Dénitrification par syncopage de l'aération



**Figure 12** : Dénitrification dans deux bassins distincts

Dans le cas d'une dénitrification dans deux bassins distincts, le processus débute dans un bassin non aéré (milieu anoxique). Comme celui-ci se trouve en amont du bassin aéré et donc avant la réaction de nitrification, les nitrates sont apportés via une recirculation des boues depuis le clarificateur et par une « liqueur mixte » issue du bassin d'aération. L'apport de carbone organique est quant à lui assuré par les eaux usées qui arrivent dans le bassin de dénitrification.

Dans le cas d'un bassin unique, l'aération n'est pas continue, permettant ainsi d'alterner les phases aérées et non aérées afin que les bactéries propres à chaque phase puissent se développer correctement.

Les paramètres qui peuvent influencer le bon déroulement d'une dénitrification sont : (i) **l'oxygène dissous**, (ii) **la température**, (iii) **le pH** et (iv) **la présence de substances toxiques** (von Sperling M. & Lemos Chernicharo C.A., 2005).

## 2.2 Traitement des boues

Les boues d'épuration sont les principaux déchets issus du traitement biologique des eaux usées qu'il convient de traiter de manière adéquate en fonction de leur destination ou de leur usage futur. Les boues sont constituées de matières organiques plus ou moins minéralisées, de matière minérale issue de l'effluent, de bactéries et de leurs résidus. D'autre part, on distingue deux origines de la production des boues : les boues provenant de la décantation primaire appelées boues primaires et les boues issues d'une décantation secondaire appelées boues biologiques. Elles se différencient notamment par leur teneur en matières sèches (MS), leur composition mais surtout par leur pouvoir fermentescible (lié aux MVS).

L'objectif premier du traitement des boues est la stabilisation de celle-ci, c'est-à-dire en réduisant leur pouvoir fermentescible (minéralisation) et en assurant leur hygiénisation (réduction des microorganismes). Cependant, d'autres objectifs sont visés tels que : (i) la réduction du volume des boues (déshydratation), (ii) la réduction de la quantité de matières sèches (matières volatiles), et (iii) la récupération d'énergie (production de biogaz) ou encore (iv) la récupération de composés tels que le phosphore. Le traitement des boues doit être défini en fonction des boues produites en excès mais également en fonction du devenir de celles-ci.



Le traitement des boues s’effectue selon les six étapes suivantes : (i) **épaississement**, (ii) **stabilisation**, (iii) **conditionnement**, (iv) **déshydratation**, (v) **séchage** et (vi) **évacuation**. Elles sont résumées dans le schéma ci-après et décrites dans les paragraphes suivants ainsi que les différentes méthodes nécessaires pour y parvenir.

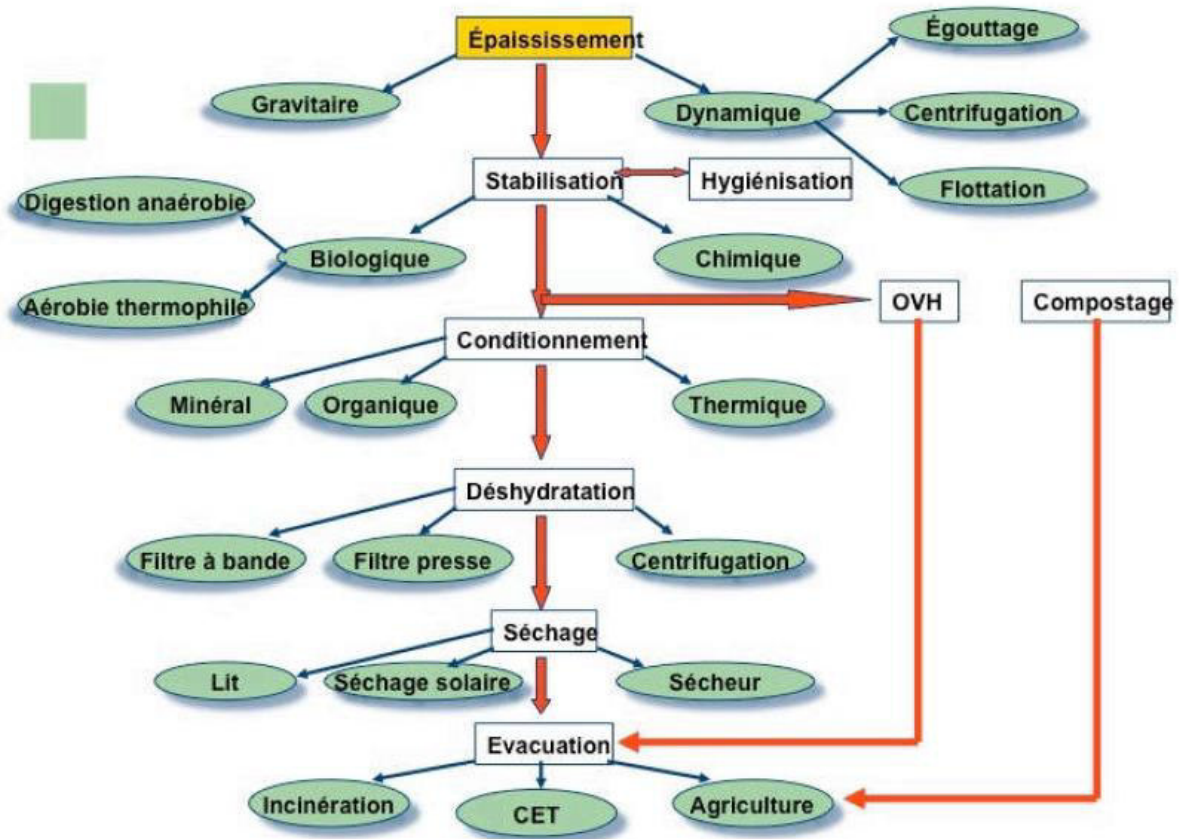


Figure 13 : Etapes du traitement des boues (Laurent J., 2017)

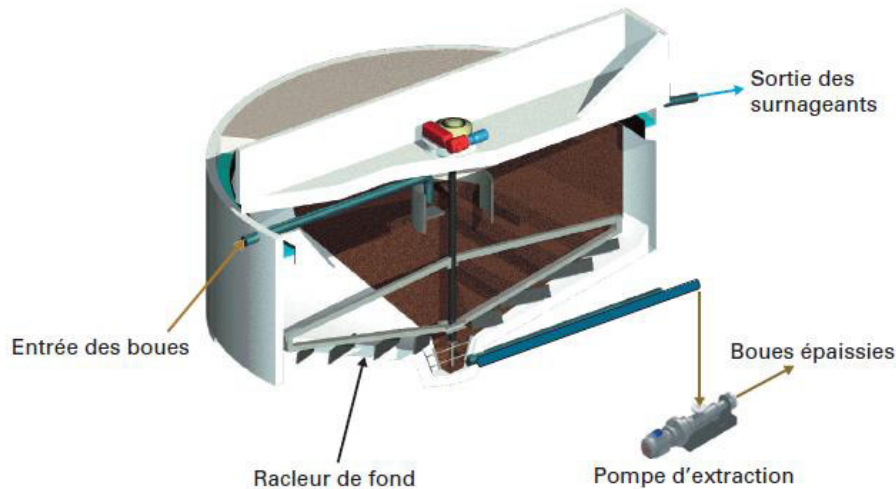
## 2.2.1 Épaississement des boues

L'épaississement des boues est la première étape du traitement des boues et très souvent incontournable car elle permet la réduction du volume des boues extraites de la filière eau. Celles-ci sont très liquides et composées à 99% d'eau dans la majorité des cas mais cela dépend avant tout des conditions d'exploitation en amont (quantité d'eau, composition, etc.). L'intérêt principal de cette étape est d'optimiser les étapes suivantes du traitement notamment en réduisant la taille des ouvrages en aval mais également en réduisant les coûts d'exploitation. Pour cela, deux procédés sont couramment utilisés et décrit ci-après :

### 2.2.1.1 Décantation gravitaire ou épaississement statique

Cette technique correspond à une décantation sous le simple effet de la pesanteur, c'est-à-dire que les matières décantent sous leur propre poids afin de former un lit de boues au fond de l'ouvrage. Celui-ci est circulaire, son radier est incliné à environ 15% et à la différence d'un clarificateur, est muni d'une herse et d'un racleur diamétral permettant le transfert des boues vers le centre de l'ouvrage.

Les boues liquides sont introduites par le haut via une jupe de répartition située au centre du bassin (1 à 2m sous le niveau liquide) et l'extraction des boues épaissies s'effectue au centre du radier. L'eau interstitielle est quant à elle évacuée par le haut de l'ouvrage.



**Figure 14** : Coupe transversale épaisseur statique (*Memento Degremont*®)

Pour les boues organiques issues du traitement des ERU, il n'est pas nécessaire d'ajouter de polymère (chaux par exemple) à cette étape sauf dans des cas particuliers tel qu'un séjour prolongé dans l'ouvrage ou en région chaude.

Le temps de séjour des boues au sein de l'ouvrage ne doit pas excéder 24h en raison du pouvoir fortement fermentescible des boues. En règle générale, le temps de séjour moyen varie entre 12 et 24h.

La siccité attendue des boues en sortie d'ouvrage est d'environ 4 à 5%.

### **2.2.1.2**     *Épaississement dynamique*

Cette technique met en œuvre des procédés tels que la flottation, l'égouttage/filtration ou encore la centrifugation. L'épaississement dynamique est utilisé principalement sur les boues biologiques et les boues d'hydroxydes. L'intérêt de l'épaississement dynamique pour les boues biologiques est de réduire la taille des ouvrages (emprise au sol fortement réduite), d'épaissir plus et d'épaissir plus vite (meilleur rendement d'épaississement) et de contrôler les odeurs car le milieu est aéré.

La technique de flottation est la plus couramment utilisée pour l'épaississement dynamique des boues. Contrairement au principe de décantation, le principe d'un flottateur est de faire monter les boues à la surface d'un ouvrage par pressurisation d'un fluide entre 3 et 6 bars en utilisant de fines bulles d'air. On peut parler de flottation (i) directe où la boue est mise sous pression puis détendue dans le flottateur ou (ii) indirecte où de l'eau exogène est mise sous pression puis détendue dans le flottateur.

Les techniques d'épaississement dynamique présentent tout de même quelques inconvénients notamment en termes de consommations énergétiques (jusqu'à 300 kWh/T MS pour la centrifugation).

### 2.2.2 Stabilisation des boues

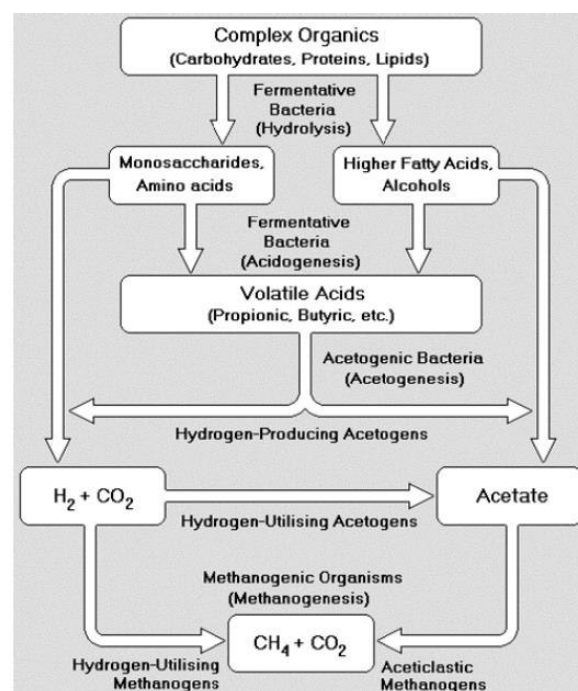
La stabilisation des boues a pour objectif la transformation et l'élimination de la matière organique biodégradable dans le but de bloquer le processus de fermentation. Pour cela, on peut recourir à deux méthodes par voie biologique, soit aérobie soit anaérobie.

#### La digestion anaérobie

La digestion anaérobie permet la décomposition de la matière organique par voie anaérobie, c'est-à-dire dans un environnement dépourvu d'oxygène libre. Les boues fraîches sont riches en microorganismes, se décomposent facilement et libèrent facilement des odeurs. De manière générale, on considère pour les ERU que la digestion permet **la réduction de 40 à 50% de la teneur en matière organique** des boues mixtes.

Le processus de digestion anaérobie se déroule en quatre étapes qui sont respectivement les suivantes (Metcalf & Eddy, 2004) :

- l'**hydrolyse** où la matière particulaire est transformée en composés solubles, qui seront ensuite hydrolysés en monomères simples. Ceux-ci pourront alors être utilisés par les bactéries pour la phase de fermentation.
- la **fermentation** (ou **acidogénèse**) correspond à la phase où les acides aminés, les sucres et les acides gras sont dégradés afin de produire : acétate, hydrogène, CO<sub>2</sub>, propionate et butyrate. Ils seront les précurseurs de la formation de méthane.
- la **formation d'acétate** qui consiste en la conversion du propionate et du butyrate en acétate.
- La **formation de méthane** (ou **méthanogénèse**) est effectuée grâce à deux familles d'organismes méthanogènes qui d'une part permette la conversion de l'acétate en méthane et CO<sub>2</sub> et d'autre part utilisé l'hydrogène et le CO<sub>2</sub> pour produire du méthane.



Voies métaboliques et groupes de micro-organismes impliqués dans la digestion anaérobie (Lettinga et al., 1996)

Les facteurs influençant la digestion sont la température, le temps de séjour ainsi que la charge organique. Cependant les paramètres comme l'intensité du brassage (au sein du réacteur), la régularité d'alimentation et d'extraction des boues et enfin la teneur, la nature et la structure de la matière organique peuvent également grandement influer sur le rendement. Le meilleur indicateur de rendement de la qualité de la digestion est la production de biogaz. On considère que 900 à 1 000 litres de gaz sont produits pour une kilogramme de matière organique détruite. Le gaz produit est composé à 60-65% de méthane, 40-45% de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Le principe de la digestion est rappelé ci-après. Les boues fraîches fermentent au sein du digesteur (condition anaérobie) où elles sont malaxées et chauffées afin qu'elles perdent une partie de leur humidité. Puis un brassage mécanique permet de favoriser le mélange entre les microorganismes et les matières à dégrader. La température doit être stable dans le digesteur : soit mésophile (35°C) soit thermophile (50 – 60°C) ou les deux de manière successive (digestion en deux phases). La digestion

anaérobie mésophile est le procédé de stabilisation de boues le plus utilisé à travers le monde (*Luduvic M., 2007*). Le temps de séjour hydraulique dépend du volume du digesteur et de la concentration des boues entrantes ; il se situe généralement autour de 30 jours.

D'un point de vue environnemental, la digestion anaérobie a l'avantage de produire du méthane qui peut être utilisé pour la production d'énergie et peut contribuer à l'autosuffisance d'une STEU (chauffage du digesteur, alimentation électrique, etc.).

D'autres avantages peuvent être cités concernant la digestion anaérobie :

- Réduction des nuisances olfactives en bloquant le processus de fermentation
- Hygiénisation des boues : 90% de germes et salmonelles sont détruits lors de cette étape
- Diminution de la quantité de boues par fermentation (élimination d'une quantité importante de matière organique) ce qui permet une réduction importante de la matière en général

### 2.2.3 Conditionnement et déshydratation des boues

#### 2.2.3.1 Conditionnement des boues

Une étape préalable à la déshydratation des boues est le conditionnement de celles-ci. Ces deux étapes sont en principe indissociables. L'objectif du conditionnement étant de casser la stabilité colloïdale des boues afin notamment de faciliter l'évacuation de l'eau libre. L'objectif principal du conditionnement des boues est d'augmenter la taille des particules et d'emprisonner les petites particules dans de plus gros floccs. Cette étape de conditionnement influence directement l'efficacité de la déshydratation à venir.

Le conditionnement peut être **minéral, organique ou thermique**. Le conditionnement dépend de la déshydratation retenue ensuite. L'avantage du conditionnement thermique est qu'il permet d'éviter l'ajout de produits chimiques. Cependant, pour qu'il soit efficace, il est nécessaire de chauffer les boues de 150 à 300°C pendant 30 à 60 minutes ce qui représente des coûts énergétiques élevés en comparaison du conditionnement minéral ou organique.

#### 2.2.3.2 Déshydratation des boues

La déshydratation des boues est un principe par lequel une séparation liquide-solide est opérée afin d'augmenter la concentration des boues et d'en réduire leur volume.

Des procédés de déshydratation mécanique comme les centrifugeuses, les filtres-presses ou les filtres à bandes sont mis en œuvre et conduisent à la production (Déshydratation mécanique des boues d'épuration, 2014) :

- d'une boue déshydratée pouvant ensuite être stockée, post-traitée (stabilisation, séchage...) ou directement valorisée,
- d'une fraction liquide qui rejoint la filière de traitement des eaux et constitue les « retours en tête » (centrats ou filtrats).

Les meilleurs résultats de déshydratation mécanique sont obtenus par filtres presse (jusqu'à 33% de siccité pour des boues mixtes), suivi par les centrifugeuses, puis les filtres à bandes.

### Déshydratation par centrifugeuse

Le principe de ce procédé repose tout simplement sur le fait de forcer la séparation liquide solide des boues par la force centrifuge. La centrifugation est un processus de sédimentation résultant de la différence de densité entre une particule et le liquide environnant.

La première étape est appelée **clarification** : les particules solides des boues se déposent à une vitesse beaucoup plus élevée que si elles se déposaient simplement par gravité. La deuxième étape est nommée **compaction** lorsque la boue perd une partie de son eau par capillarité sous l'action prolongée de la centrifugation. Les boues déshydratées ou le « gâteau » sont extraits du processus après cette étape.

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d'une centrifugeuse.

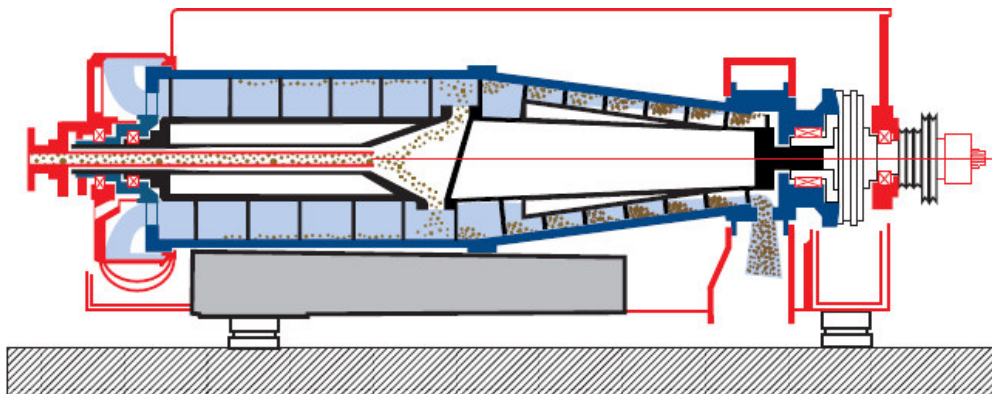


Figure 15 : Schéma en coupe d'une centrifugeuse haute pression (Mémento Degremont ®)

Les centrifuges haute pression sont maintenant largement utilisées pour le traitement des boues et permettent d'atteindre des siccités aussi bonnes que par filtre presse ou filtre à bandes. Les performances de déshydratation par centrifugeuse sont influencées par la concentration des boues en entrée, par le type de conditionnement, le débit de boues et la température. Plus la boue est stabilisée en amont, meilleures seront les performances des centrifugeuses. Par exemple, une boue issue d'une digestion anaérobie avec injection de polymère préalable (2 à 3 g/kg) peut atteindre une siccité comprise en 35 et 40% en sortie de centrifugeuse (Cleverson Vitorio Andreoli et al. (Ed.), 2007).

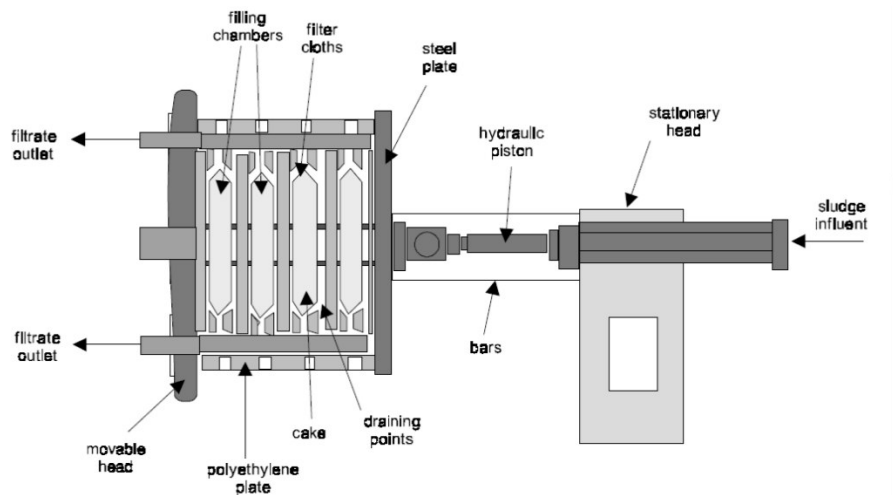
Le dimensionnement d'une unité de déshydratation par centrifugation est basé sur les données du fabricant concernant la charge que peut accueillir l'équipement et le type de boues liquides. Les informations nécessaires au dimensionnement et à transmettre au fabricant sont le type de boues à traiter, le débit journalier de boues et la concentration en matières sèches attendue en sortie.

### Déshydratation par filtres presse

Le principe de déshydratation par filtre presse repose sur une séparation liquide solide par filtration à forte pression.

Les filtres presse sont les appareils les plus couramment utilisés dans le traitement des boues avec les centrifugeuses. Son avantage indéniable reste les siccités les plus importantes obtenues en déshydratation mécanique.

Les filtres presse fonctionnent par cycle d'une durée approximative de 3 à 5h et l'on distingue trois étapes : (i) le **garnissage** qui consiste à remplir les espaces vides entre les plaques filtrantes avec le fluide chargé sous pression, (ii) la **filtration** à proprement parlé sous une pression maximum et (iii) le **déchargement des « gâteaux » de boues**.



**Figure 16 :** Descriptif d'un filtre presse (Cleverson Vitorio Andreoli et al. (Ed.), 2007)

Pour le dimensionnement du filtre presse, on considère en fait le volume des « gâteaux » de boues récupérés après filtration ; ils sont les parfaits indicateurs des flux de matières sèches et d'eau transitant dans le filtre. Les siccités des boues entrantes et sortantes restent parmi les paramètres incontournables nécessaires au dimensionnement.

Les siccités attendues dépendent bien entendu de l'origine des boues et du conditionnement, mais pour des cycles de durée moyenne de 2h, se situent entre 35 et 45 % (Cleverson Vitorio Andreoli et al. (Ed.), 2007).

### **Lits de séchage des boues**

Dans le cas des lits de séchage, l'eau est éliminée de deux manières : par évaporation et percolation. Ce procédé de traitement est relativement simple à mettre en œuvre et consiste en la construction de bassin rectangulaire, généralement en béton où les éléments suivants assurent le drainage de l'eau issue des boues :

- **Couche de support** a une double fonction, elle assure la réception des boues et permet une bonne répartition de celles-ci afin d'éviter l'obstruction des pores du milieu drainant et assure l'élimination des boues déshydratées sans perturber les couches inférieures. Elle est généralement constituée de briques dures ou brûlées (matériau permettant de résister à l'élimination des boues sèches)
- **Couche de média** permettant le drainage de l'eau : celle-ci a une épaisseur d'environ 50 cm et est composée de couches sable et de graviers de différentes tailles (diamètre augmente avec la profondeur). Ces différentes couches permettent la percolation du liquide présent dans la boue à travers les couches supérieures de sable et les couches inférieures de gravier.
- **Système de drainage** est constitué de tuyaux perforés disposés dans le fond du réservoir permettant de recueillir le liquide qui percole à travers les couches supérieures. Le sol du lit de séchage doit être plat et imperméable, avec une pente minimale de 1% vers le collecteur principal de drainage.

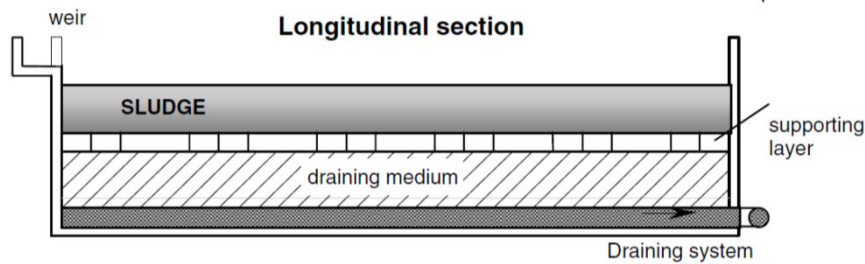


Figure 17 : Coupe longitudinale d'un lit de séchage (Gonçalves, 1999)

Le dimensionnement des lits de séchages est basé sur la charge applicable et dépend des variantes telles que la production de boues à la STEU, les caractéristiques des boues (MES et MVS), la siccité attendue après déshydratation (déterminera le temps de séchage) et l'épaisseur de la couche de boues dans les lits de séchage.

Les lits de séchage ont de très bons rendements qui permettent d'atteindre une teneur en matières sèches jusqu'à 70% (dépend de la teneur en matières sèches en entrée des lits). Cette technique présente néanmoins des inconvénients tels que :

- des rendements fortement dépendant des conditions météorologiques (facteurs non maîtrisables). Ils restent utilisés dans les régions où les précipitations sont faibles et il est possible de les couvrir pour lutter contre les précipitations afin de ne pas augmenter le temps de séchage.
- du temps de rétention : 10 à 20 jours pour une épaisseur de boues de 20 à 30 cm (il est possible d'intégrer des polymères afin de favoriser la phase de drainage)
- une main d'œuvre non négligeable pour l'exploitation, et
- des espaces considérables.

### **Déshydratation grâce aux Géotubes®**

Cette technique de déshydratation est apparue récemment, avec le développement des membranes.

En raison de leur grande résistance et de leur grande capacité, les tubes de déshydratation sont couramment utilisés dans les projets de traitement des eaux usées (STEU), les étangs agricoles, les installations aquacoles, ou encore les lagunes industrielles.

Les boues sont pompées dans les Géotubes® aux pores minuscules, qui laissent passer l'eau petit à petit et concentrent les matières. Lorsqu'ils sont arrivés à saturation, les Géotubes® contiennent des boues déshydratées **jusqu'à 15 à 25% de siccité**.

Les **Géotubes®** requièrent moins d'espace que les lits de séchage et lorsque les conditions sont réunies, les rendements peuvent être tout aussi bons. Néanmoins, le coût d'investissement est en général plus élevé. L'inconvénient majeur de cette technologie réside dans le fait qu'elle ne permet pas encore la réutilisation/recyclage des membranes. En effet, lorsqu'ils sont pleins, ils sont soit ouverts et les boues expédiées vers une autre destination, soit transportés tels quels pour un enfouissement.

Cette technologie reste néanmoins bien adaptée au système de lagunage car la production de boues n'est pas trop élevée et l'extraction se fait de manière intermittente.



## 2.2.4 Séchage des boues

### Séchage solaire

Le séchage solaire est un procédé qui fait appel à une énergie renouvelable, inépuisable et gratuite : le rayonnement solaire. Ce procédé consiste en un ensemble de serres, ouvertes ou fermées, qui en piégeant le rayonnement solaire permettent d'augmenter la température des boues et ainsi d'en évaporer plus facilement l'eau interstitielle. Ce procédé permet d'atteindre des siccités très élevées, de l'ordre de 70 à 80%, toujours dans le but de limiter les volumes et les masses de boues afin de faciliter leur stockage et leur transport (réduction des coûts d'exploitation).

L'objectif du séchage solaire est d'évaporer l'eau contenue dans la boue. Les facteurs favorisant l'évaporation sont majoritairement liés au climat : température élevée, humidité relative faible et vitesse/force du vent. Telles que les serres sont conçues, elles permettent d'emmagasiner la chaleur, ainsi la température de l'air et des boues est plus élevée que l'air ambiant. Sans oublier que les boues étant de couleur foncée absorbent facilement le rayonnement solaire. En raison de l'effet d'évaporation, l'air sera saturé en eau, ainsi des extracteurs et des ventilateurs doivent être pris en compte pour le renouvellement de l'air à l'intérieur de la serre.

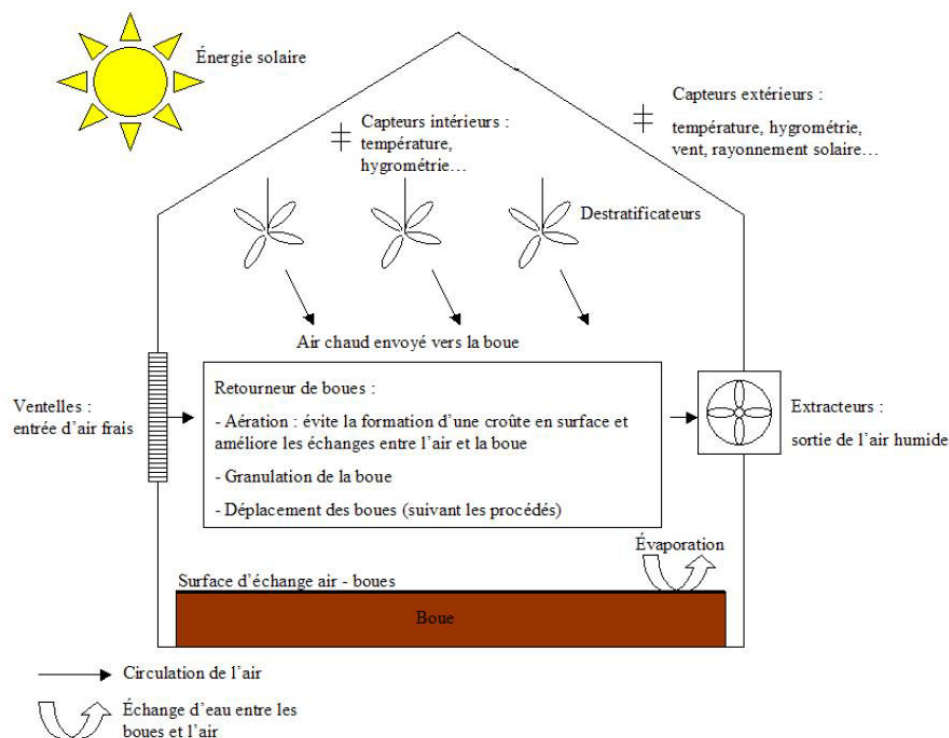


Figure 18 : Schéma du fonctionnement général d'une serre (Brison, C. et al, 2010)

Le fonctionnement des serres, qu'elles soient ouvertes ou fermées est sensiblement le même mais les performances de séchage varient d'un dispositif à l'autre. Celles-ci sont moindres et aléatoires (car non maîtrisables) pour les serres ouvertes. Les coûts énergétiques sont par contre limités.

Pour le dimensionnement, les paramètres importants relèvent de l'aspect météorologique tel que la température, le rayonnement solaire, le vent, l'hygrométrie de l'air et les précipitations. Ces paramètres n'auront pas la même influence selon le type de serres. Les autres paramètres à prendre en compte dans le dimensionnement sont sensiblement les mêmes que pour les lits de séchage : siccités initiales et finales des boues, quantité de boues annuelles, hauteur maximum du lit de boue dans la serre et la filière d'évacuation prévue.



Tout comme les lits de séchage, ce procédé nécessite de grandes surfaces et les performances des serres dépendent également des conditions climatiques. Afin de maximiser le séchage, les serres devront se situer dans un endroit sec où l'ensoleillement est maximum.

### **2.2.5 Evacuation des boues**

Lorsque le traitement des boues arrivent à sa fin, il reste deux derniers aspects à étudier qui sont la manutention et le stockage des boues avant de les envoyer vers la filière (de valorisation) retenue comme le compostage, l'épandage en agriculture ou encore l'incinération. Selon la filière retenue, les siccités des boues peuvent varier.

Afin de dimensionner correctement les appareils de manutention puis les espaces de stockage nécessaire, le type de boues (siccité, texture, etc.) ainsi que sa composition chimique devront être définis.

### 3 PRÉSENTATION DES ALTERNATIVES ÉTUDIÉES

#### Approche méthodologique

Le choix des différentes options à étudier a été défini dans les termes de référence (TdR) de l'étude de faisabilité. Celles-ci ont été proposées par rapport à l'expérience SAGUAPAC mais également en fonction des objectifs de traitement visés en accord avec la législation en vigueur du pays. L'ensemble des STEU exploitées par la SAGUAPAC à Santa Cruz utilisent un procédé de traitement basé sur le lagunage. Dans la mesure du possible, l'opérateur souhaite continuer à utiliser ce type de process.

Pour l'extension de la STEU Este, les TdR préconise l'étude de deux options :

- Installation d'une nouvelle série de lagunes anaérobies couvertes, facultatives et de maturation
- Lagunes anaérobies couvertes, introduction de filtres anaérobies, lagunes facultatives et de maturation

En vue d'atteindre les objectifs de traitement, notamment pour la réduction de l'azote, une alternative complémentaire sur la base d'un process par boues activées sera développée.

Pour la construction de la nouvelle STEU, compte tenu de l'espace disponible, la mise en place d'un traitement dit « extensif » ne sera pas possible. Des alternatives basées sur des traitements « intensifs », plus compacts seront proposées par les TdR qui recommandent les technologies suivantes :

- Réacteurs anaérobies, filtres anaérobies, boues activées puis désinfection
- Réacteurs anaérobies, lits bactériens et désinfection
- Réacteurs anaérobies, filtres anaérobies et lagunes de maturation

Quatre combinaisons de traitement (variantes) seront étudiées dans l'étude de faisabilité.

Dans cette phase, les calculs de pré-dimensionnement des variantes envisagées seront réalisés (file « eau » et file « boues ») et les coûts d'investissements et d'exploitation estimés dans le but de donner au Client tous les éléments qui lui permettront de choisir la meilleure solution.

#### 3.1 Objectifs de traitement

Les objectifs de purification sont différents selon les étapes du projet et diffèrent notamment pour l'élimination de l'azote. Les objectifs de qualité sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 10** : Objectif de qualité pour les effluents des stations Este et Motacusal

| Paramètres        | Unités     | 2029    | 2041    |
|-------------------|------------|---------|---------|
| DBO <sub>5</sub>  | mg/l       | < 30    | < 30    |
| MES               | mg/l       | < 100   | < 100   |
| Azote total       | mg-N/l     | N/A     | < 12    |
| Coliformes fécaux | NMP/100 ml | 5,000.0 | 5,000.0 |

En phase 1 & 2, il est possible d'atteindre les objectifs de traitement en matière d'élimination du carbone, des solides ainsi que des coliformes fécaux. La phase 2 requiert, en sus de ces paramètres, une élimination de l'azote pour atteindre les objectifs de qualité.

Afin d'atteindre les objectifs de qualité, les process de traitement proposés devront avoir une efficacité minimale de 85%.

### 3.2 Extension de la station de traitement des eaux usées Este

La station d'épuration Este est déjà opérationnelle grâce à un procédé par lagunage classique (3 séries de lagunes anaérobies, facultatives et de maturation).



**Photo 3** : Aperçu d'une partie des lagunes anaérobies couvertes et lagunes facultatives (GITEC, 2018)

Le prétraitement actuellement en place consiste tout d'abord en une fosse pour piéger les éléments les plus gros, puis un dégrillage grossier (grille) et enfin un dégrillage fin assuré par des Huber Fine Screen ROTAMAT® Ro1.



**Photo 4** : Curage de la fosse d'arrivée (GITEC, 2018)



**Photo 5** : Dégrillage grossier (GITEC, 2018)



**Photo 6** : Dégrillage fin (GITEC, 2018)

Afin de garantir une bonne performance des lagunes, les boues doivent être excavées tous les trois ans au maximum. En réalité, la dernière opération connue de ce type a eu lieu en 2009. Les boues issues des lagunes sont extraites par pompage et déshydratées grâce à des Geotubes®.



**Photo 7** : Géotubes® installés à la STEU Este (GITEC, 2018)

Aujourd'hui, les performances de la STEU Este se voient considérablement diminuées par la surcharge arrivant à la station d'une part et par le manque d'entretien des lagunes d'autre part. En fait, il n'existe pas de plan clair de gestion des boues au sein de la SAGUAPAC.

L'expérience SAGUAPAC dans l'exploitation des lagunes est très vaste, c'est pourquoi, il est cohérent de proposer des solutions sur la base de cette technologie. Ainsi, dans la mesure du possible, les installations existantes seront conservées afin de réduire les coûts d'investissement (et de conserver des coûts d'exploitation faibles) tout en respectant les objectifs de purification fixés. L'inconvénient majeur de cette technologie est que les exigences de qualité en termes d'azote ne pourront être atteintes en deuxième phase. D'autre part, ce processus nécessite un espace important.

### 3.2.1 Critères de dimensionnement

Les critères de dimensionnement d'une station de traitement sont définis par les débits arrivant à la STEU, et donc par le nombre d'habitants raccordés à celle-ci, mais également par la caractérisation des eaux usées à traiter.

Les débits et les charges à considérer pour la station des eaux usées Este sont basés sur les paramètres donnés dans les termes de référence. Cependant, suite à l'étude des données d'exploitation relevées entre 2007 et 2018, on peut noter une importante différence avec les concentrations relevées à l'entrée de la station Este. Compte tenu de cette observation, et après échange avec EMAGUA/SAGUAPAC (et le bailleur), les fortes concentrations s'expliquent par l'influence des eaux usées industrielles provenant des petites industries non raccordées à la STEU des eaux usées industrielles.

La prise en compte des données d'exploitation pour le dimensionnement de l'extension de la STEU Este est rejetée par EMAGUA/SAGUAPAC qui mettront en œuvre des mesures afin de s'assurer qu'aucune eau usée industrielle n'atteindra la STEU Este. Deux solutions sont envisagées, soit la construction d'un nouveau réseau d'assainissement pour les eaux industrielles vers la STEU du parc industriel, soit d'exiger des industries qu'elles réalisent un prétraitement adéquat avant rejet dans le réseau existant.

Les débits ont été estimés sur la base des données d'exploitation en corrélation avec la population actuelle reliée à la STEU Este. Pour le dimensionnement, on retiendra **120 litres/jour/habitant**. Les paramètres sont présentés dans le tableau suivant pour les différentes phases du projet :

**Tableau 11** : Débits estimés pour la station de traitement Este

| Paramètres   | Unité             | Horizon du projet |         |
|--|-------------------|-------------------|---------|
|  |                   | 2029              | 2041    |
| Population raccordée   | hab.              | 375 857           | 392 626 |
| Equivalent habitant (y compris les petites activités commerciales) | eq. Hab.          | 432 236           | 451 520 |
| Débit moyen journalier des eaux usées domestiques*                 | m <sup>3</sup> /j | 51 868            | 54 182  |
|  | l/s               | 600               | 627     |
| Débit horaire maximum en temps sec                                 | l/s               | 864               | 903     |
| Débit maximum total  | m <sup>3</sup> /h | 3 112             | 3 251   |

\*Infiltration incluse

Les concentrations et les charges attendues à la station Este sont détaillées dans le tableau suivant :

**Tableau 12** : Concentration et charges des eaux usées attendues à la STEU Este

| Charges attendues à la STEU Este |            | 2029   | 2041   |
|----------------------------------|------------|--------|--------|
| DBO <sub>5</sub>                 | mg/l       | 289    | 289    |
|                                  | kg/jour    | 14 990 | 15 659 |
| DCO                              | mg/l       | 677    | 677    |
|                                  | kg/jour    | 35 115 | 36 681 |
| MES                              | mg/l       | 373    | 373    |
|                                  | kg/jour    | 19 347 | 20 210 |
| MVS                              | mg/l       | 286    | 286    |
|                                  | kg/jour    | 14 834 | 15 496 |
| NTK                              | mg/l       | 67     | 67     |
|                                  | kg/jour    | 3 475  | 3 630  |
| P                                | mg/l       | 12     | 12     |
|                                  | kg/jour    | 622    | 650    |
| Coliformes fécaux                | NMP/100 ml | 8.E+07 | 8.E+07 |
| Nématodes intestinales           | œufs/l     | 1.E+03 | 1.E+03 |

En phase 1, la charge organique des eaux usées attendue correspond à 14 990 kg/j DBO<sub>5</sub>. Au cours de la phase 2, on s'attend à une légère augmentation de la charge, qui atteindra 15,659 kg/j DBO<sub>5</sub>. Le rapport DBO<sub>5</sub> / NTK sera alors de 4,3, ce qui signifie que pour le processus de dénitrification, le carbone organique nécessaire aux bactéries dénitrifiantes sera disponible en quantité suffisante sans ajout d'une source extérieure (cf. paragraphe 2.1.2 Dégradation de la pollution azotée).

### 3.2.2 Présentation des différentes options / justification (3 alternatives)

Dans les Termes de Référence (TdR) de l'étude, deux variantes étaient à étudier pour l'extension de cette STEU à savoir :

- Alternative 1 : Ajout d'une nouvelle série de lagunes anaérobies, facultatives et de maturation ;
- Alternative 2 : Introduction de filtres anaérobies dans le process existant entre les lagunes anaérobies et facultatives.

Cependant, des ajustements sont proposés par le Consultant :

- Au niveau de l'alternative 2, le simple ajout de filtre anaérobie ne permettra pas d'atteindre les objectifs de traitement en phase 2, notamment par rapport à l'azote, c'est pourquoi des bassins de dénitrification suivis de lits bactériens sont envisagés ;
- Alternative 3 : Une troisième variante de traitement par boues activées a également été proposée afin d'atteindre les objectifs de purification à l'horizon 2041 du projet, notamment en termes d'élimination de l'azote. Cette alternative est présentée au chapitre 3.2.6 ci-après.

### 3.2.3 Prétraitement

Les effluents subissent en général une série de prétraitement en arrivant à la STEU et ce, dans le but d'éliminer les éléments polluants les plus grossiers. L'objectif est de protéger les ouvrages en aval contre le colmatage, les dépôts ou encore pour éviter un déséquilibre dans la microflore épuratrice.

Selon les processus de traitement biologique retenus, le prétraitement doit être plus ou moins poussé.

Un prétraitement existe déjà au niveau de la STEU Este comme décrit plus en amont. Il correspond à une fosse « piège à pierres », un dégrillage grossier (manuel) puis un dégrillage fin (automatique). Afin d'affiner ce prétraitement, il est proposé de compléter celui-ci par l'installation de dessableur/dégraiseur en entrée de station. Compte tenu que la configuration actuelle de la station, il ne sera pas nécessaire d'installer un poste de relevage en entrée de station et les unités de dessableur/dégraiseur pourront être construites entre les installations de dégrillage et les lagunes.

L'objectif du dessablage tout d'abord est d'éviter le dépôt de particules telles que les graviers et les sables ayant un diamètre supérieur à 200 µm. Le principe de la séparation gravitaire s'applique, les particules les plus grosses se déposent dans le fond alors que les matières organiques, plus légères restent en suspension (sous l'effet de l'aération).

L'objectif du dégraissage est d'extraire les graisses présentes dans les eaux usées et ce, essentiellement pour la protection des ouvrages aérés ou encore de traitement biologique (dysfonctionnements biologiques) et pour prolonger leur durée de vie en évitant le colmatage. Le principe de séparation par flottation s'applique, les graisses s'accrochent aux bulles d'air et sont ainsi récupérées en surface par raclage en général.

Pour la STEU Este, deux unités de dessableur/dégraiseur combiné avec aération seront installées après le dégrillage. Les temps de séjour hydraulique sont généralement courts et compris entre 5 et 20 minutes en fonction du débit appliqué et on considère qu'un tel ouvrage retient 80% des sables de diamètre supérieur à 250 µm et 80% des graisses.

### 3.2.4 Alternative 1 : Une série de lagunes supplémentaires

L'alternative 1 consiste à construire une série de lagunes complémentaires sur le même schéma que celui existant. Cependant, les nouvelles lagunes auront une capacité supérieure de 35% par rapport aux lagunes existantes. Un espace suffisant est disponible en parallèle des lagunes actuellement en exploitation.

La figure suivante présente un synoptique des aménagements envisagés :

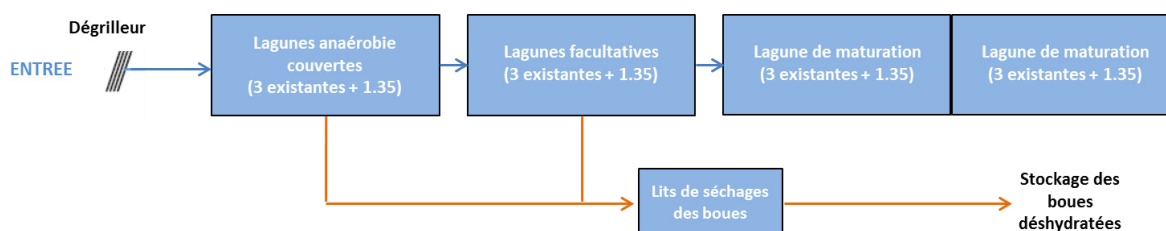


Figure 19 : Schéma de traitement Alternative 1 – STEU Este

Le dimensionnement ainsi que le calcul des concentrations des effluents après extension de la station de traitement ont été calculés (Mara D., 2003) et sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 13 : Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 1 STEU Este

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 51 868 | 54 182 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 26     | 27     |
| MES                       | mg/l                 | 34     | 34     |
| NTK                       | mg/l                 | 32     | 32     |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 10     | 20     |



Pour les débits donnés, grâce à l'ajout d'une série de lagunes à la STEU Este (1.35 fois plus grande), les objectifs de purification fixés pourront être atteints en termes de DBO<sub>5</sub> et de matières en suspension, mais ne pourront cependant pas être atteints en termes d'azote en seconde phase du projet.

Cette alternative ne respecte pas les objectifs de purification fixés à la fois par les TdR et la législation en vigueur du pays.

### 3.2.5 Alternative 2 : Insertion de filtres anaérobies

La deuxième alternative étudiée consiste à introduire des filtres anaérobies entre les lagunes anaérobies et facultatives afin de réduire la concentration en DBO<sub>5</sub>. Les filtres anaérobies sont des réservoirs en béton remplis habituellement graviers (moins onéreux) ou de matière plastique sur lesquelles les bactéries peuvent se développer (cf. 2.1.1.2 Traitement anaérobie). Ici, un support plastique sera considéré en prévision de la phase 2 (voir ci-après).

La figure suivante présente un synoptique des aménagements à réaliser :

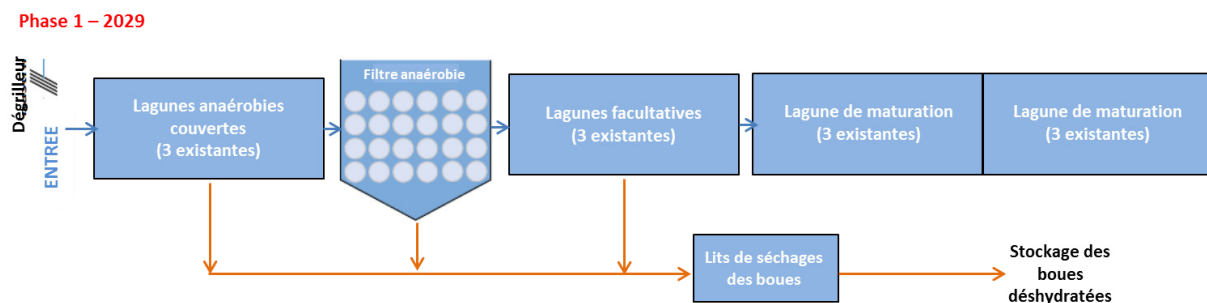
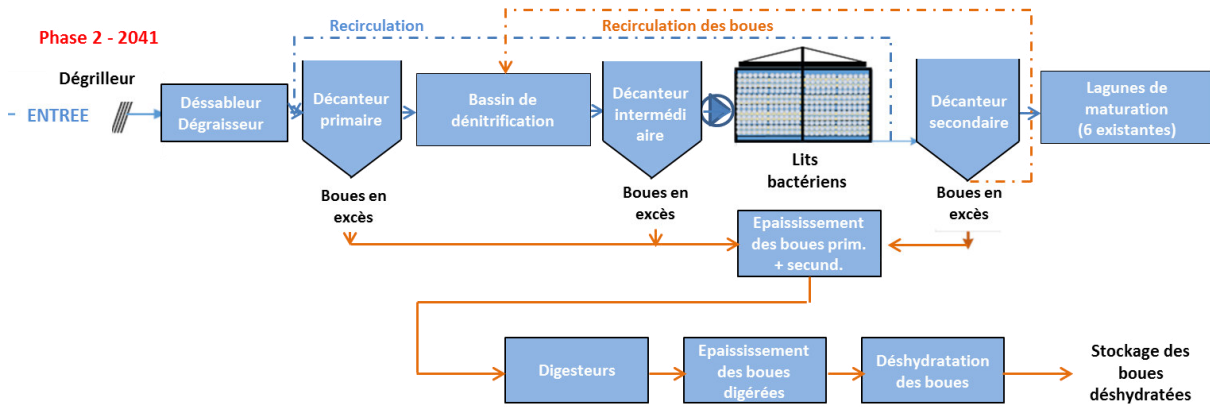


Figure 20 : Schéma de traitement Alternative 2 (phase 1) – STEU Este

L'idéal, et afin de limiter les coûts d'exploitation notamment, serait que les filtres anaérobies puissent être intégrés dans le processus sans l'ajout d'un pompage intermédiaire. Pour éviter le pompage, il serait envisageable de « jouer » sur les niveaux d'eau dans les lagunes anaérobies (augmenter le niveau d'eau) et dans les lagunes facultatives (diminuer le niveau au minimum). Les pertes de charge dans les filtres anaérobies sont relativement faibles. Cependant, pour le lavage des filtres, l'installation de pompes spécifiques pourrait être requise, mais celles-ci ne seraient pas nécessaires en période de fonctionnement normal.

Cette alternative permet de respecter les objectifs de purification en termes de DBO<sub>5</sub> et de réduction des solides, cependant, il ne sera pas possible de respecter les limites de rejet concernant l'azote en conservant ces installations en phase 2. En raison des faibles coûts d'investissement et d'exploitation, mais également afin de conserver le processus de lagunage bien maîtrisé par la SAGUAPAC, cette option reste envisagée.

Cependant, pour la phase 2, le procédé sera totalement modifié afin de permettre un traitement complet de l'azote. Il sera donc nécessaire de construire des bassins de décantation, de dénitrification et des lits bactériens. Le synoptique suivant présente les aménagements à réaliser en phase 2 :



**Figure 21 :** Schéma de traitement Alternative 2 (phase 2) – STEU Este

Les concentrations des effluents après extension de la station de traitement sont présentées dans le tableau ci-après :

**Tableau 14 :** Caractéristiques de l’effluent avant rejet – Alternative 2 STEU Este

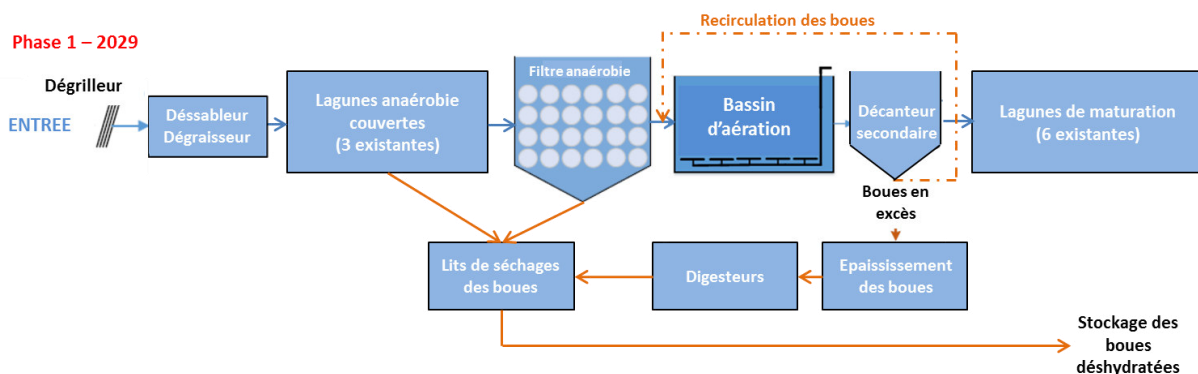
| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 51 868 | 54 182 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 29     | 7      |
| MES                       | mg/l                 | 9      | 7      |
| NTK                       | mg/l                 | 31     | 8      |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 67     | 2 164  |

Grâce aux différentes solutions proposées, les objectifs de traitement seront atteints pour les phases 1 & 2, moyennant tout de même de gros investissements pour le traitement de l’azote.

### 3.2.6 Alternative 3 : Process par boues activées

La dernière alternative propose l’introduction d’un nouveau process par boues activées (ce qui induit l’abandon d’une partie des lagunes actuellement en exploitation). En première phase, après les lagunes anaérobies, l’installation de filtres anaérobies permettront de compléter la réduction de la pollution carbonée (tout comme dans l’alternative 2), avant l’installation du process par boues activée proprement dit, c’est-à-dire un bassin d’aération suivi d’un clarificateur (cf. paragraphe 2.1.1.4 Procédés à cultures libres : boues activées).

La figure suivante présente un synoptique des aménagements à réaliser en phase 1 pour cette troisième alternative :

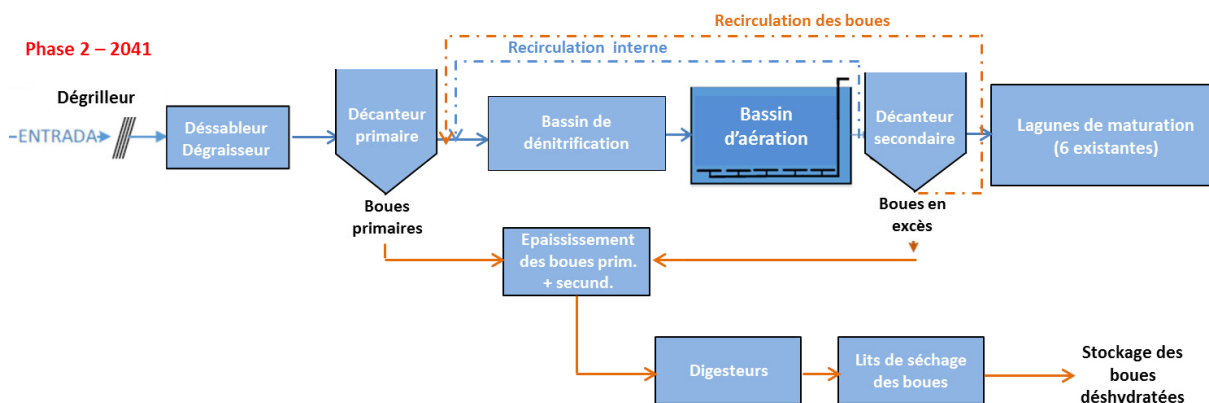


**Figure 22 :** Schéma de traitement Alternative 3 (phase 1) – STEU Este



La combinaison des lagunes anaérobies et des filtres anaérobies en phase 1 a pour objectif de réduire considérablement la DBO<sub>5</sub>, ce qui peut rendre la dénitrification compliquée en phase 2. Ainsi, en seconde phase, les lagunes anaérobies ne seront plus nécessaires et seront donc supprimées. Une décantation primaire sera prévue avant la dénitrification pré anoxique (cf. paragraphe 2.1.2.2 Dénitrification) qui sera assurée dans les filtres anaérobies préalablement installés en phase 1.

Les installations à prévoir pour la seconde phase sont présentées dans la figure suivante :



**Figure 23 :** Schéma de traitement Alternative 3 (phase 2) – STEU Este

Quant aux lagunes de maturation pourront être conservées (et entretenues) afin d'assurer l'élimination des pathogènes. Une très faible charge est attendue dans les lagunes de maturation en raison du traitement efficace en amont (aération + décantation), on s'attend donc à une réduction considérable des pathogènes. Si ce n'était pas le cas, il est possible de prévoir une désinfection supplémentaire par des moyens très simples (chloration ou radiation UV).

Les concentrations des effluents après la mise en place du process par boues activées sont présentées dans le tableau ci-après :

**Tableau 15 :** Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 3 STEU Este

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 51 868 | 54 182 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 9      | 23     |
| MES                       | mg/l                 | 6      | 17     |
| NTK                       | mg/l                 | 32     | 8      |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 200    | 650    |

Cette alternative a l'avantage (par rapport au deux précédentes), de respecter tous les objectifs de purification et notamment l'élimination de l'azote à l'horizon 2041 sans modification du traitement biologique entre la phase 1 et la phase 2.

### 3.2.7 Désinfection des eaux

Dans le cas de la STEU Este, des lagunes de maturation sont déjà en exploitation et les valeurs des effluents pour toutes les alternatives montrent qu'une désinfection au chlore ou par lampes UV ne sera pas nécessaire. En effet, grâce aux deux lagunes de maturation en série, les taux de coliformes fécaux sont très faibles, tout comme le nombre de nématodes intestinaux qui sont proches de zéro (cf. 2.1.1.5 Procédés à cultures libres : lagunage).

A noter également que l'alternative 1, basée exclusivement sur un procédé de traitement par lagunage présente les taux les plus faibles de coliformes fécaux et de nématodes intestinaux.

Dans tous les cas, et quel que soit la phase du projet, les valeurs de coliformes fécaux et œufs d’helminthes dans l’effluent, sont bien inférieures aux normes de rejet. Ainsi, aucune désinfection n’est envisagée à la STEU Este.

### 3.2.8 Production, excavation et séchage des boues

Tous les process de traitement proposés pour l’extension de la STEU Este génère une certaine production de boues qu’il est nécessaire d’extraire d’une part et de traiter d’autre part. Les quantités de boues attendues pour les trois alternatives sont présentées dans le tableau ci-après :

**Tableau 16** : Production de boues pour les alternatives de la STEU Este après déshydratation (lits de séchage)

| Production de boues                    | Unités               | 2029  | 2041   |
|--|----------------------|-------|--------|
| Débit maximum de boues – Alternative 1 | m <sup>3</sup> /jour | 18    | 19     |
| Débit massique des boues               | kg/jour              | 7 247 | 7 571  |
| Débit maximum de boues – Alternative 2 | m <sup>3</sup> /jour | 11    | 31     |
| Débit massique des boues               | kg/jour              | 4 421 | 12 334 |
| Débit maximum de boues – Alternative 3 | m <sup>3</sup> /jour | 24    | 42     |
| Débit massique des boues               | kg/jour              | 9 676 | 16 609 |

Les boues des lagunes anaérobies et facultatives seront extraites grâce à l’acquisition d’un ponton flottant équipé d’un système de pompage pour l’aspiration des boues. Le pompage est prévu de manière régulière. Dans notre cas, les lagunes de maturation ne produisent pas ou peu de boues.

Pour la déshydratation des boues, plusieurs options qui offrent différents rendements sont envisageables (cf. paragraphe 2.2.3.2 Déshydratation des boues) :

- Les **lits de séchage** des boues ont de très bons rendements qui permettent d’atteindre une teneur en matière sèche jusqu’à 70%. Cependant, ces rendements dépendent des conditions climatiques et du temps de rétention. Les lits de séchage nécessitent de la main-d’œuvre et beaucoup d’espace, mais on peut considérer leur durée de vie entre 20 et 25 ans.
- Les **Géotubes®** nécessitent moins d’espace que les lits de séchage et lorsque les bonnes conditions sont réunies, le rendement peut être aussi bon que les lits de séchage. Cette technologie est adaptée au système lagunaire, car la production de boues n’est pas trop élevée. Cependant, les coûts d’investissement sont plus élevés que pour les lits de séchage.

Pour les procédés de traitement comme les lits bactériens ou les boues activées, la production de boues est bien plus importante que pour le lagunage, et surtout elles sont produites continuellement. De plus, les boues en excès issues de ces installations devront d’abord être stabilisées avant déshydratation (cf. paragraphe 2.2 Traitement des boues), tout d’abord dans le but de réduire leur pouvoir fermentescible, mais aussi dans le but de limiter leur volume. Les installations seront prévues en conséquence (épaississement, digesteur). Après leur stabilisation, l’étape de déshydratation pourra être considérée.

Actuellement, des Géotubes® sont déjà en exploitation à la STEU Este, cependant, ils sont majoritairement saturés et doivent être vidés, évacués et remplacés. Compte tenu des coûts d’investissement élevés mais également du fait de leur caractère non renouvelables (usage unique), cette option n’est pas recommandée. Aujourd’hui, il n’existe pas réellement de plan de gestion des boues sur cette station. L’excavation des boues des lagunes anaérobies est obsolète et les Géotubes® sont saturés sans qu’aucune mesure ne soit prise pour remédier à cette situation. Il s’agit donc de recommander une alternative robuste et durable d’une part et de réduire au maximum le volume des boues produites d’autre part, et ce dans le but de limiter les coûts de manutention et de transport qui y sont liés.

### 3.2.9 Estimation des coûts

Une première estimation des coûts d'investissement pour les trois alternatives a été réalisée selon les « Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie » du Dr-Ing Wolfgang Wagner (2010). Dans l'attente des données des constructeurs, ces données permettent d'obtenir une idée globale des coûts d'investissements. Ceux-ci seront bien entendu affinés lors de la deuxième étape de l'étude.

Les coûts d'exploitation et d'entretien comprennent les frais de personnel et d'électricité. Les prix unitaires pour le personnel sont également basés sur Wagner (2010). Les coûts énergétiques sont calculés selon l'estimation des puissances des appareils installés sur les stations de traitement multipliée par un prix unitaire de 0.084 US \$/kWh (prix actuel pratiqué en Bolivie).

Enfin, le coût de transport des résidus de tamis ainsi que les boues déshydratées a été estimé à 50 US \$/tonne. Cette approche permet de garantir la possibilité de comparer les coûts d'exploitation entre les différentes alternatives.

Le tableau suivant résume les estimations de coûts d'investissement et d'exploitation pour les trois alternatives proposées à la station de traitement Este.

**Tableau 17** : Coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien des différentes alternatives de la STEU Este

|   | ALTERNATIVE 1    |                | ALTERNATIVE 2     |                | ALTERNATIVE 3     |                  |
|---|------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------|
|   | Phase 1          | Phase 2        | Phase 1           | Phase 2        | Phase 1           | Phase 2          |
| <b>Coûts d'investissement (US \$)</b>                         | 7 963 917        | 127 080        | 9 818 377         | 39 759 060     | 14 669 951        | 27 604 800       |
| <b>TOTAL (US \$)</b>  | <b>8 090 997</b> |                | <b>49 577 437</b> |                | <b>42 274 751</b> |                  |
| <b>Coûts d'exploitation &amp; d'entretien (US \$ / année)</b> | <b>385 876</b>   | <b>400 250</b> | <b>366 960</b>    | <b>983 461</b> | <b>692 538</b>    | <b>1 862 391</b> |
| <i>Personnel</i>  | 43 200           | 43 200         | 74 400            | 74 400         | 74 400            | 74 400           |
| <i>Electricité</i>  | 24 406           | 24 580         | 25 878            | 489 660        | 255 539           | 1 290 565        |
| <i>Transport résidus &amp; boues</i>                          | 318 270          | 332 470        | 266 682           | 419 401        | 362 599           | 497 426          |

\* 1 US \$ = 0,855313 €

Les tableaux détaillés des coûts d'investissement et d'exploitation pour chaque alternative sont présentés en Annexe 5.

### 3.3 Construction d'une nouvelle station de traitement des eaux usées Motacusal

La STEU Motacusal est une nouvelle station de traitement qui vise à soulager les stations déjà existantes de la ville de Santa Cruz. Elle recevra essentiellement les eaux usées des secteurs périurbains nord de la ville, mais aura également pour objectif de soulager la STEU Este (actuellement surchargée) en redirigeant une partie des eaux usées vers la nouvelle STEU Motacusal.

Initialement, cette nouvelle STEU devait être construite au Nord et à l'extérieur de la ville. Le terrain de 100 ha identifié n'ayant finalement pu être acquis par la partie bolivienne, un nouvel espace a été trouvé, cependant d'une taille inférieure (50 ha), ce qui ne permet plus de réaliser un processus de traitement par lagunage comme prévu au démarrage du programme. Ainsi, pour cette station, des procédés de traitement dits « intensifs » seront étudiés afin de respecter les objectifs de traitement sur un espace limité.

### 3.3.1 Critères de dimensionnement

Les critères de dimensionnement pour la STEU Motacusal sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 18** : Débits attendus à la STEU Motacusal

| Paramètres   | Unité             | Horizon du projet |         |
|--|-------------------|-------------------|---------|
|  |                   | 2029              | 2041    |
| Population raccordée   | hab.              | 593 197           | 681 363 |
| Equivalent habitant (y compris les petites activités commerciales) | eq. Hab.          | 682 177           | 783 567 |
| Débit moyen journalier des eaux usées domestiques*                 | m <sup>3</sup> /j | 81 861            | 94 028  |
|  | l/s               | 947               | 1 088   |
| Débit horaire maximum en temps sec                                 | l/s               | 1 364             | 1 567   |
| Débit maximum total  | m <sup>3</sup> /h | 4 912             | 5 642   |

\*Infiltration incluse

La population raccordée à la nouvelle station de traitement Motacusal sera croissante : en phase 1 du projet, elle sera de près de 593 000 habitants pour atteindre plus de 681 000 personnes en phase 2. Le débit moyen d'eaux usées à traiter sera donc d'environ 81 800 m<sup>3</sup>/j à l'horizon 2029 puis à l'horizon 2041, de plus de 94 000 m<sup>3</sup>/j.

Les concentrations et les charges attendues à la STEU Motacusal sont données dans les termes de référence de l'étude et présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau 19** : Concentrations et charges des eaux usées attendues à la STEU Motacusal

| Charges attendues à la STEU Motacusal |            | 2029   | 2041   |
|---------------------------------------|------------|--------|--------|
| DBO <sub>5</sub>                      | mg/l       | 289    | 289    |
|                                       | kg/jour    | 23 658 | 27 174 |
| DCO                                   | mg/l       | 677    | 677    |
|                                       | kg/jour    | 55 420 | 63 657 |
| MES                                   | mg/l       | 373    | 373    |
|                                       | kg/jour    | 30 534 | 35 072 |
| MVS                                   | mg/l       | 286    | 286    |
|                                       | kg/jour    | 23 206 | 26 655 |
| NTK                                   | mg/l       | 67     | 67     |
|                                       | kg/jour    | 5 485  | 6 300  |
| P                                     | mg/l       | 12     | 12     |
|                                       | kg/jour    | 982    | 1 128  |
| Coliformes fécaux                     | NMP/100 ml | 4.E+07 | 4.E+07 |
| Nématodes intestinales                | œufs/l     | 1.E+03 | 1.E+03 |

La charge organique en DBO<sub>5</sub> atteint 27 174 kg/j en phase 2 du projet, le rapport des composés organiques et azotés étant supérieur à 4 (DBO<sub>5</sub> / NTK = 4,3), la dénitrification pourra être réalisée sans dosage externe de carbone (cf. paragraphe 2.1.2 Dégradation de la pollution azotée).

### 3.3.2 Présentation des différentes alternatives / justification (4 alternatives)

Les variantes considérées pour la nouvelle STEU Motacusal sont au nombre de 4 et sont décrites dans les paragraphes ci-après.

### 3.3.3 Prétraitement

L'objectif du prétraitement est de retirer des eaux usées tous les éléments/particules qui pourraient faire obstruction au traitement biologique mais également pour protéger les ouvrages en aval.

Pour l'ensemble des alternatives proposées pour la nouvelle STEU Motacusal, les étapes de prétraitement seront identiques et se décomposent comme suit :

- Arrivée des eaux usées dans la **fosse « piège à pierres »** qui a pour but de piéger les pierres, et les éléments les plus grossiers ;
- Les eaux sont ensuite dirigées via des canaux vers le **dégrillage grossier** qui consiste en une grille inclinée avec espacement des barreaux de 30 mm (automatique), puis vers un **dégrillage fin** (en escalier) où l'espacement entre les barreaux de la grille est de 3 mm ;
- Enfin, les eaux sont dirigées vers un **dessableur/dégraisseur** combiné afin de retirer toutes les particules inertes de diamètre supérieur à 250 µm (sables) et les graisses.

### 3.3.4 Alternative 1 : Process par boues activées

#### *File eau*

L'alternative 1 propose un process de traitement par boues activées. Ce procédé d'épuration avec élimination de l'azote est le plus largement utilisé à travers le monde. Dans ce processus, le traitement biologique des eaux usées est effectué au moyen d'une biomasse en suspension dans l'eau (cf. paragraphe 2.1.1.4 Procédés à cultures libres : boues activées). Le procédé d'épuration par boues activées est considéré comme le traitement le plus souple pour répondre aux exigences de qualité.

En phase 1, les eaux provenant du prétraitement seront dirigées vers les décanteurs primaires afin de réduire les matières en suspension présentes dans les ERU ainsi que la DBO<sub>5</sub> (cf. paragraphe 2.1.1.1 Sédimentation). Un traitement primaire anaérobie sera installé ensuite (lorsque l'élimination de l'azote n'est pas requise) qui deviendra un bassin de dénitrification pré-anoxique en seconde phase.

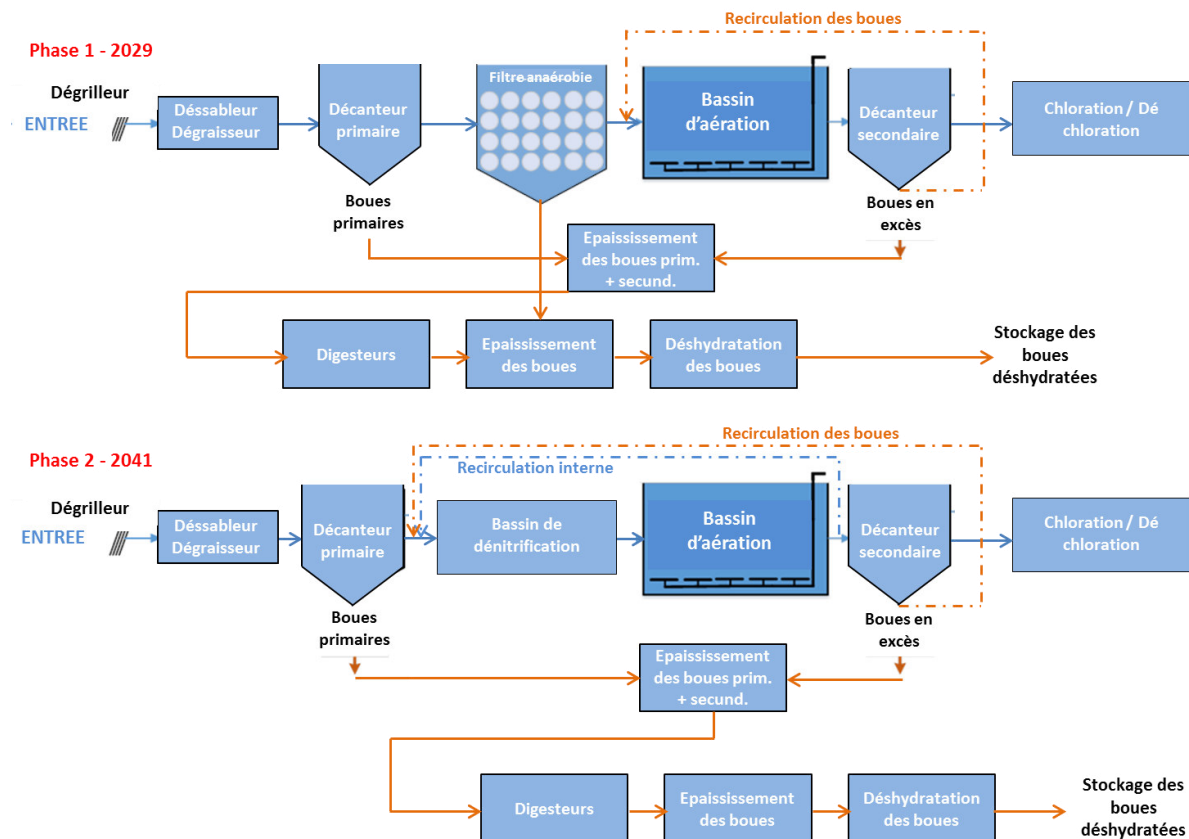
Le traitement biologique primaire commence dans les filtres anaérobies (cf. paragraphe 2.1.1.2 Traitement anaérobie). Ici, une partie substantielle de la charge organique est réduite sans dépense énergétique. Le filtre anaérobie est un réservoir en béton rempli de graviers ou de support plastique sur lequel les bactéries peuvent se développer (biofilm).

Dans la seconde phase, ce réacteur deviendra un réacteur avec biomasse en suspension où la dénitrification pré-anoxique sera réalisée. Les pompes de recirculation permettront de transporter l'eau nitrifiée depuis la sortie du bassin d'aération vers le bassin de dénitrification. Les boues actives du décanteur secondaire seront également dirigées vers le bassin de dénitrification permettant de maintenir l'âge des boues dans le système (cf. paragraphe 2.1.2 Dégradation de la pollution azotée). L'unité de dénitrification n'a pas besoin d'être profonde et n'a pas besoin d'aération non plus.

Après le bassin de dénitrification, les eaux sont transférées vers le bassin de nitrification ou bassin d'aération. Dans celui-ci, la dégradation du carbone continue et l'ammonium est oxydé en nitrate. Pour cette réaction, un apport d'oxygène est nécessaire. L'aération peut être réalisée de deux manières, soit par des aérateurs de surface, soit par une aération sous pression. La première méthode a un rendement légèrement inférieur mais permet un entretien plus facile et l'efficacité des aérateurs de surface ne faiblit pas tout au long de leur cycle de vie.

Les eaux usées traitées sont ensuite séparées des boues activées dans un clarificateur. La boue active est pompée à travers une station de pompage vers le bassin de nitrification en phase 1 et vers le bassin de dénitrification en phase 2 (recirculation interne), et une petite partie est enlevée sous forme de boue en excès.

La figure suivante présente un synoptique des aménagements à réaliser pour cette alternative en phase 1 et 2 :



**Figure 24** : Schéma de traitement Alternative 1 – STEU Motacusal

Enfin, pour que les paramètres microbiologiques répondent aux exigences environnementales, une désinfection est nécessaire pour achever le traitement des eaux usées. Celle-ci peut se faire par filtration sur sable suivie d'une désinfection UV ou par injection de chlore. Les deux méthodes satisfont aux exigences, mais la chloration est plus couramment utilisée en Bolivie et permet également de conserver un résidu de chlore pour éviter une re-contamination.

Une installation de boues activées fonctionne en grande partie de manière automatisée, mais nécessite une surveillance intensive par des professionnels qualifiés. Chaque jour, des décisions opérationnelles doivent être prises et une analyse appropriée du processus doit être effectuée. C'est donc une solution « coûteuse » en termes de moyens humains.

Les concentrations des effluents après la mise en place du processus par boues activées sont présentées dans le tableau ci-après :

**Tableau 20** : Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 1 STEU Motacusal

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 81 861 | 94 028 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 15     | 19     |
| MES                       | mg/l                 | 20     | 20     |
| NTK                       | mg/l                 | 45     | 10     |
| P                         | mg/l                 | 7      | 8      |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 3 500  | 3 500  |

Les eaux usées traitées répondent en tout point aux exigences en matière d'élimination de la charge polluante (carbonée et azotée en phase 2).

### **File boues**

Les boues primaires et les boues en excès provenant du traitement secondaire doivent être biologiquement stabilisées afin d'éviter la formation de matières putrescibles et le dégagement d'odeurs désagréables.

Une stabilisation anaérobie est proposée à la STEU Motacusal (épaississement préalable). Les étapes de la digestion anaérobie ainsi que les paramètres à maîtriser sont décrits dans le paragraphe 2.2.2 Stabilisation des boues.

Une fois digérées, les boues doivent être déshydratées afin de réduire leur volume et leur poids. Les différents process sont décrits aux paragraphes 2.2.3 Conditionnement et déshydratation des boues.

**Tableau 21** : Production de boues – Alternative 1 STEU Motacusal

| <b>Production de boues</b>                   | <b>Unité</b>         | <b>Phase 1</b> | <b>Phase 2</b> |
|--|----------------------|----------------|----------------|
| Débit moyen journalier de boues déshydratées | m <sup>3</sup> /jour | 65,7           | 134,3          |
| Débit massique des boues digérées            | kg/jour              | 13 657         | 27 928         |
| Concentration des boues déshydratées         | % (p(v))             | 20             | 20             |

### **3.3.5 Alternative 2 : Lits bactériens avec décantation primaire**

#### **File eau**

L'alternative 2 propose un autre process de traitement basé sur les lits bactériens avec une décantation primaire.

Pour cela, les étapes de prétraitement mécanique ainsi que la sédimentation primaire à partir d'un décanteur décrits aux chapitres précédents, sont identiques. Ces étapes sont essentielles afin que les lits bactériens ne soient pas obstrués par le chargement des solides en suspension.

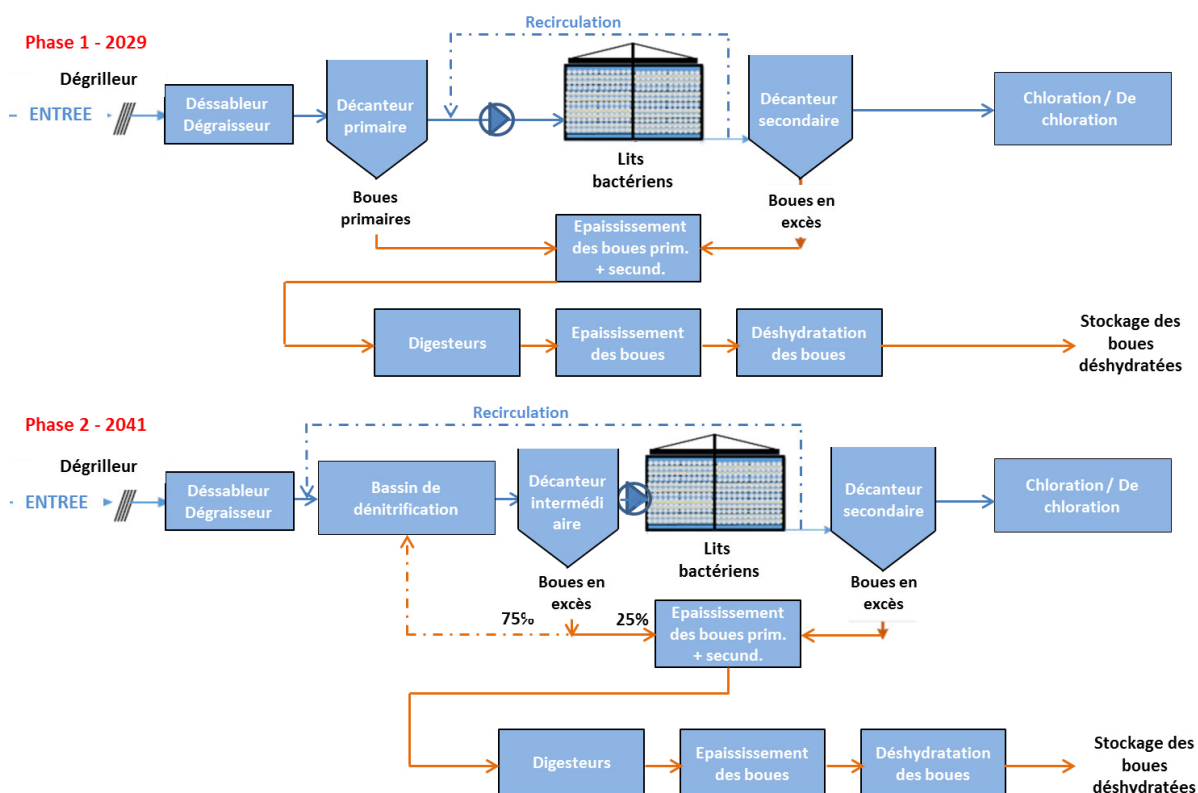
Les lits bactériens sont des structures cylindriques en béton remplies d'un garnissage sur lequel les bactéries se développent sous forme d'un biofilm. Dans la partie inférieure du filtre, des aérations doivent être prévues afin de permettre une circulation d'air naturelle de bas en haut à l'intérieur de l'ouvrage. L'eau est distribuée à la surface par des sprinklers ou distributeurs rotatifs et s'écoule à travers le matériau de remplissage. Le matériau de remplissage peut être de trois types : (i) pierre ponce ou gravier, (ii) en plastique (flux croisé ou droit) ou (iii) feuilles de plastique. Les composés organiques sont dégradés par les bactéries hétérotrophes puis l'ammonium est oxydé en nitrates par les bactéries autotrophes (cf. paragraphe 2.1.1.3 Procédés à cultures fixées : lits bactériens).

Après le lit bactérien, l'eau s'écoule dans un bassin de sédimentation dans lequel la biomasse est séparée des eaux usées traitées. Les boues résultantes sont pompées avec les boues du décanteur primaire vers le traitement des boues.

Dans la phase 2, des bassins de dénitrification seront installés entre le dessableur/dégrossisseur et le décanteur primaire (qui deviendra dans cette phase un décanteur intermédiaire). Le bassin de dénitrification sera une cuve en béton avec biomasse en suspension et agitateurs. Elle accueillera les eaux du dessableur/dégrossisseur, une partie de la recirculation des lits bactériens et les boues du décanteur intermédiaire. Pour éviter d'obstruer les lits bactériens, les boues formées dans la cuve de dénitrification doivent être séparées lors de la clarification intermédiaire.



La figure suivante présente un synoptique des aménagements à réaliser pour cette alternative dans les deux phases :



**Figure 25** : Schéma de traitement Alternative 2 – STEU Motacusal

La désinfection des eaux usées sera identique aux options proposées dans l'alternative 1.

Les concentrations de l'effluent sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 22** : Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 2 STEU Motacusal

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 81 861 | 94 028 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 22     | 15     |
| MES                       | mg/l                 | 21     | 20     |
| NTK                       | mg/l                 | 53     | 10     |
| P                         | mg/l                 | 9      | 4      |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 3 500  | 3 500  |

Cette alternative permet donc de respecter les valeurs de rejet fixées par la législation en vigueur dans le pays.

### File boues

Le traitement des boues envisagé est identique à celui proposé pour l'alternative 1, c'est-à-dire que les boues issues des décanteurs seront épauissies, puis digérées. Après digestion, elles seront déshydratées pour réduire leur volume et leur poids. La quantité de boues stabilisées et déshydratées produites par l'alternative 2 est présentée dans le tableau suivant :



**Tableau 23** : Production de boues – Alternative 2 STEU Motacusal

| Production de boues                          | Unité                | Phase 1 | Phase 2 |
|--|----------------------|---------|---------|
| Débit moyen journalier de boues déshydratées | m <sup>3</sup> /jour | 77      | 118     |
| Débit massique des boues déshydratées        | kg/jour              | 16 008  | 24 530  |
| Concentration des boues déshydratées         | % (p(v))             | 20      | 20      |

### 3.3.6 Alternative 3 : Lits bactériens avec fosse Imhoff

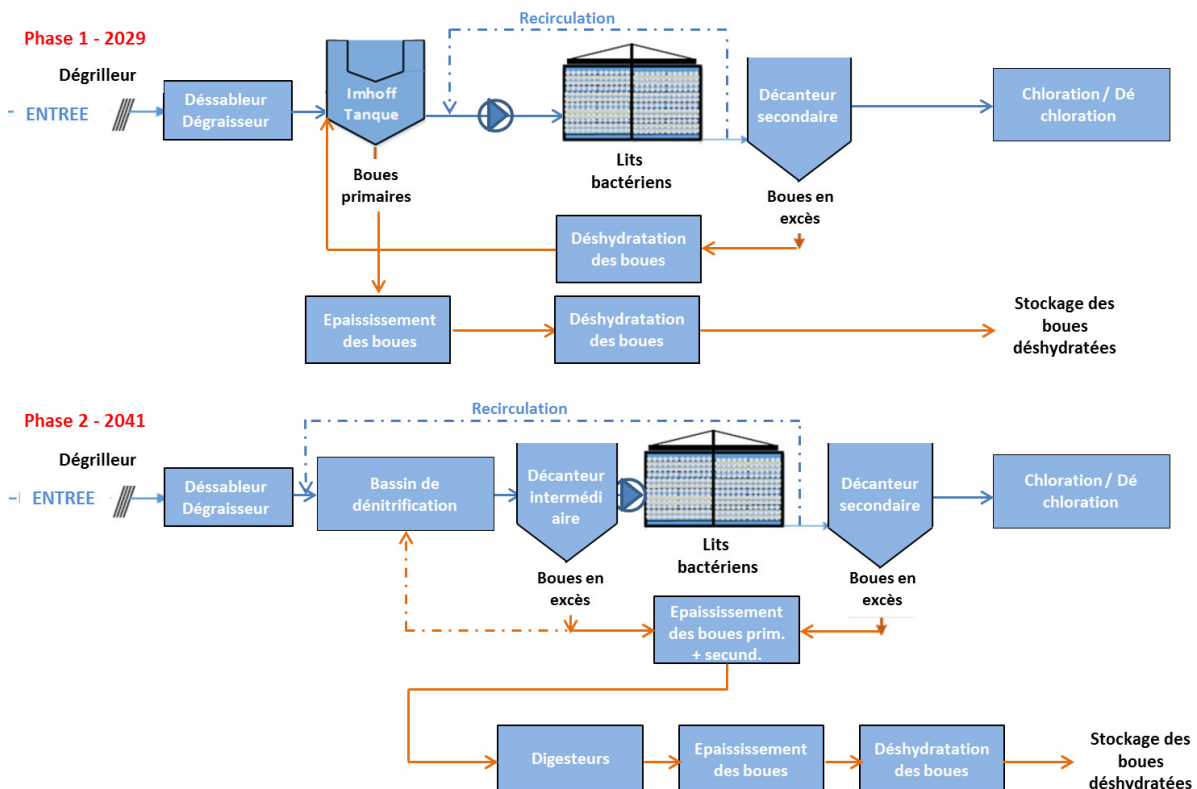
#### File eau

La troisième alternative est similaire à l'alternative 2 à la différence qu'une fosse Imhoff sera installée entre le dessableur/dégraisseur et les lits bactériens en lieu et place du décanteur primaire.

Le réservoir Imhoff est une combinaison de décanteur et de digesteur, c'est à dire qu'en sus des boues primaires, les boues en excès provenant de la clarification secondaire seront également traitées. Au sein de la fosse Imhoff, une sédimentation ainsi qu'une digestion anaérobie sont opérées. Une fosse Imhoff a des coûts structurels assez élevés par rapport à un décanteur et un digesteur séparé. Cependant, il n'y a pas besoin de pompage ou de tuyau pour transporter les boues. D'autre part, la fosse Imhoff ne nécessite pas d'épaississement statique préalable car celui-ci s'effectue directement dans la cuve en forme d'entonnoir.

Les exigences de dénitrification en phase 2 sont satisfaites au moyen de la construction d'un bassin de dénitrification suivi d'une décantation intermédiaire avant les lits bactériens. Les boues qui s'y forment sont renvoyée vers le bassin de dénitrification comme présenté dans l'alternative 2.

La figure suivante présente un synoptique des aménagements à réaliser pour cette alternative dans les deux phases :



**Figure 26** : Schéma de traitement Alternative 3 – STEU Motacusal

Les détails de la désinfection des eaux sont abordés dans le paragraphe 3.3.8 Désinfection des eaux usées.

Les concentrations de l'effluent sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 24** : Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 3 STEU Motacusal

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 81 861 | 94 028 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 22     | 6      |
| MES                       | mg/l                 | 21     | 6      |
| NTK                       | mg/l                 | 53     | 10     |
| P                         | mg/l                 | 9      | 4      |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 3 500  | 3 500  |

Cette alternative permet de respecter les valeurs de rejet, notamment en phase 2 pour le traitement de la pollution azotée.

### **File boues**

Dans cette alternative, en phase 1, les boues sont stabilisées directement dans la cuve Imhoff. Ce réservoir a une forme pyramidale inversée avec des parois inclinées (environ 60° par rapport à l'horizontale). Par conséquent, les dispositifs de recirculation deviennent inutiles. La boue se dépose dans la zone supérieure et est extraite dans la zone inférieure, ce qui donne un écoulement de piston qui empêche les courts-circuits de boues non stabilisées. Le biogaz est collecté sous la zone de sédimentation et traité dans le système gazier.

En raison du niveau élevé de production de boues, les boues digérées sont pré calibrées par compression et doivent être enlevées périodiquement. Ensuite, elles peuvent être évacuées mécaniquement comme les boues d'un digesteur conventionnel, vers des lits de séchage ou toute autre méthode de déshydratation appropriée.

En phase 2, comme la fosse Imhoff ne fait plus partie du système de traitement, les boues produites sont issues des décanteurs intermédiaires et secondaires et sont donc extraites sous forme liquide non stabilisées. Ainsi, des installations pour l'épaississement, la digestion et enfin la déshydratation sont à prévoir en seconde phase.

Les quantités de boues attendues (déshydratées) pour l'alternative 3 sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 25** : Production de boues – Alternative 3 STEU Motacusal

| Production de boues                          | Unité                | Phase 1 | Phase 2 |
|--|----------------------|---------|---------|
| Débit moyen journalier de boues déshydratées | m <sup>3</sup> /jour | 84      | 118     |
| Débit massique des boues déshydratées        | kg/jour              | 17 471  | 24 530  |
| Concentration des boues déshydratées         | % (p(v))             | 20      | 20      |

### **3.3.7 Alternative 4 : Lits bactériens avec réacteurs anaérobies**

#### **File eau**

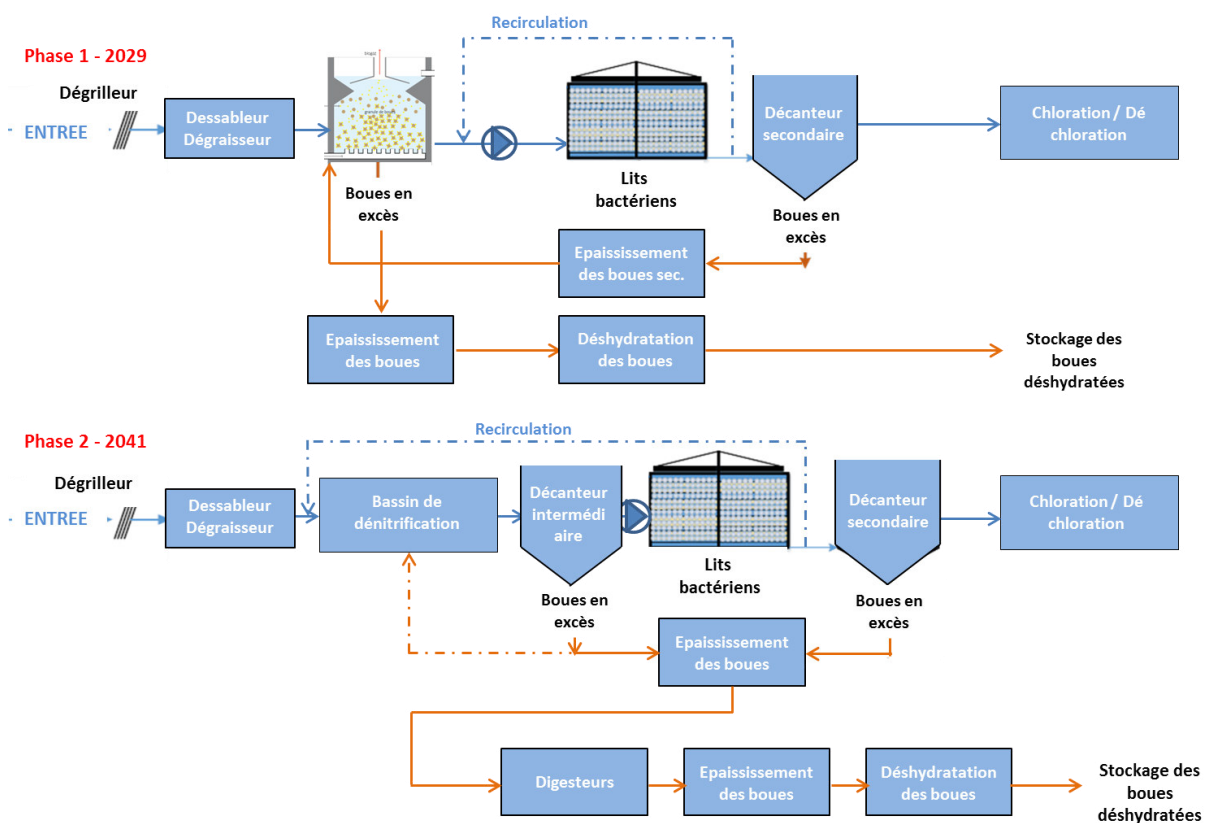
L'alternative 4 propose l'installation de réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA) en traitement primaire qui seront installés après le dessableur/dégraisseur. Les eaux usées sont introduites dans le réacteur et traversent un lit de boues ou un manteau anaérobie, dans lequel aura lieu la dégradation

des composés organiques du carbone. Aucune énergie n'est nécessaire pour l'aération ou l'agitation et il y a peu de production de boues. Le réacteur est équipé de raccords permettant d'éliminer les boues en excès à différentes hauteurs, ce qui permet également de prélever des échantillons pour déterminer leur concentration. Les détails du fonctionnement des RAFA et de leurs performances sont donnés au paragraphe 2.1.1.2 Traitement anaérobie.

Dans l'alternative proposée, la dégradation de la matière organique telle que la DBO<sub>5</sub> commence dans le RAFA et s'achève dans le lit bactérien par ruissellement et où l'ammonium est également oxydé en nitrate (nitrification). Bien que la concentration en DBO<sub>5</sub> dans l'effluent du RAFA soit déjà inférieure à celle requise pour un lit bactérien, une recirculation devra être effectuée à partir du drain de l'effluent (sortie décantation secondaire) afin de permettre à l'eau de s'oxygéner lorsqu'elle atteint le lit bactérien mais également pour éviter le dessèchement du biofilm.

En phase 2, pour le traitement de la pollution azotée, des bassins de dénitrification, ainsi que des décanteurs intermédiaires en amont des lits bactériens seront installés. Les RAFA installés en phase 1, seront convertis en décanteur intermédiaires. Les boues issues de la décantation intermédiaire sont renvoyées vers le bassin de dénitrification, tout comme l'eau nitrifiée issues des lits bactériens qui apportent les nitrates nécessaires aux bactéries impliquées dans le processus de dénitrification (cf. paragraphe 2.1.2 Dégradation de la pollution azotée).

La configuration envisagée pour cette alternative est présentée dans la figure suivante :



**Figure 27** : Schéma de traitement Alternative 4 – STEU Motacusal

La désinfection de l'eau en sortie de station sera effectuée de manière identique aux autres alternatives.

Les concentrations de l'effluent sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 26** : Caractéristiques de l'effluent avant rejet – Alternative 4 STEU Motacusal

| Caractéristiques effluent | Unité                | 2029   | 2041   |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|
| Débit moyen journalier    | m <sup>3</sup> /jour | 81 861 | 94 028 |
| DBO <sub>5</sub>          | mg/l                 | 16     | 18     |
| MES                       | mg/l                 | 20     | 20     |
| NTK                       | mg/l                 | 61     | 9      |
| P                         | mg/l                 | 11     | 11     |
| Coliformes fécaux         | CF/100 ml            | 3 500  | 3 500  |

### File boues

En phase 1, les boues primaires sont déposées directement dans le RAFA. Les boues excédentaires issues du décanteur final sont pompées jusqu'à l'alimentation du RAFA, de sorte que la stabilisation commune des boues (primaires et secondaires) ait lieu dans le réacteur anaérobie.

Les boues extraites du réacteur devront d'abord être épaissies avant d'être déshydratées car la teneur en eau est relativement élevée, ainsi il est judicieux de prévoir un épaisseur statique en amont de la déshydratation.

En phase 2, comme les RAFA seront exclus du process de traitement, un traitement « plus classique » des boues sera mis en place. Tout comme pour l'alternative 3, les boues en excès issus des décanteurs intermédiaires et secondaires seront épaissies, puis digérées avant d'être déshydratées et éventuellement séchées.

Le tableau suivant présente la quantité journalière de boues déshydratées produites :

**Tableau 27** : Production de boues – Alternative 4 STEU Motacusal

| Production de boues                          | Unité                | Phase 1 | Phase 2 |
|--|----------------------|---------|---------|
| Débit moyen journalier de boues déshydratées | m <sup>3</sup> /jour | 30      | 70      |
| Débit massique des boues déshydratées        | kg/jour              | 6 320   | 14 508  |
| Concentration des boues déshydratées         | % (p(v))             | 20      | 20      |

### 3.3.8 Désinfection des eaux usées

La méthode de désinfection des eaux usées la plus répandue dans le monde est le dosage du chlore. Celui-ci peut être réalisé avec du chlore gazeux, de l'hypochlorite de sodium liquide ou de l'hypochlorite de calcium solide. Au cours des dernières années, la désinfection par UV est devenue beaucoup plus importante.

D'autres méthodes telles que le dosage de l'ozone ou l'ultrafiltration (membranes) apparaissent également sur le marché. L'ultrafiltration ne permet cependant pas de réduire les agents pathogènes avec une certitude de 100 %. De plus, la consommation d'énergie et l'entretien du système sont très coûteux, ainsi cette méthode ne sera pas étudiée dans le cas présent.

La désinfection par UV nécessite une bonne filtration des eaux usées en amont, ce qui peut être fait, par exemple avec un filtre à sable. La concentration des substances filtrables ne doit pas dépasser 10 mg/l afin de minimiser la dose UV requise. Les lampes UV perdent de leur intensité au cours de leur cycle de vie, elles doivent donc être remplacées en temps voulu. En outre, leur efficacité devrait être réexaminée régulièrement. En dehors de l'électricité pour la filtration (pompes de rétro lavage) et surtout pour les lampes UV, il n'y a pas d'autres exigences. Dans certains cas, des flocculants sont ajoutés avant la filtration pour capturer les plus petites particules. Le grand avantage de la

désinfection par UV par rapport au dosage du chlore, est qu'aucun sous-produit indésirable n'est généré.

La chloration est le procédé le plus utilisé en Bolivie pour les eaux usées mais également pour le traitement de l'eau potable. L'expérience est vaste et la procédure est facile à contrôler. Tant que le chlore est disponible et dosé en quantité correcte, une élimination sûre des agents pathogènes est garantie. Selon la forme du produit dosé, il existe des risques considérables pour la santé du personnel (le chlore gazeux est particulièrement nocif pour la santé).

L'élimination des pathogènes grâce à des lagunes de maturation ne sera pas envisageable pour la station de traitement Motacusal car cette méthode nécessite un espace considérable (30 ha environ en phase 1 et plus du double en phase 2). Le terrain total disponible pour l'ensemble de la station de traitement est de 50 ha.

Le tableau suivant récapitule les principales caractéristiques des procédures courantes de désinfection :

**Tableau 28** : Désinfection des eaux usées

|  | Filtration UV   | Chloration  |
|--|---|---|
| Flux / Dosage                              | 400 à 700 J/m <sup>2</sup><br>(> 650 lt. SUMMER & al, 2013)                   | 5 à 20 mg/l   |
| Energie spécifique (kWh / m <sup>3</sup> ) | 0.02 à 0.04   | -   |
| Coûts spécifiques (€ / m <sup>3</sup> )    | 0.02 à 0.06   | 0.04 à 0.06   |
| Sous-produits                              | Non   | Oui   |
| Qualité de l'eau requise                   | ↓ X <sub>TS</sub><br>Valeur de pH 6 à 9<br>Turbidité < 30 NTU<br>↓ Coloration | ↓ X <sub>TS</sub><br>Valeur de pH < 9<br>Grande absorption à travers :<br>composés organique, NH <sub>4</sub> -N et<br>NO <sub>2</sub> -N |

\* EXPOVAL, DWA (2017)

### 3.3.9 Traitement des boues

Comme abordé au niveau de la STEU Este, il n'y a pour le moment, pas de plan de gestion des boues ni de filière de valorisation en place à Santa Cruz. Cependant, dans le but de réduire au maximum les coûts de manutention et de transport qui y sont liés, il est recommandé d'effectuer une déshydratation puis éventuellement un séchage des boues, ce qui permettra une réduction maximale de leur volume et ce, dans le but de faciliter leur stockage et leur transport mais également pour des raisons économiques. Il existe de nombreuses méthodes de déshydratation, qui ont leurs avantages et leurs inconvénients en fonction du cas étudié.

L'espace disponible, les conditions climatiques, la valorisation des boues et le niveau de formation du personnel de la station d'épuration des eaux usées sont des facteurs importants qui influent sur le choix. Pour le choix du traitement, il est également important de savoir si les boues à évacuer s'accumulent régulièrement (processus continus tels que les boues activées ou les lits bactériens) ou de façon intermittente (cas des systèmes lagunaires). Dans le cas des lagunes, un procédé discontinu, tel que des lits de séchage ou des Géotubes, est préférable.

Une boue bien stabilisée est fondamentalement meilleure pour la déshydratation. Ainsi, pour les alternatives 1 et 2, la mise en place de digesteurs sera nécessaire. Pour les filières avec fosse Imhoff ou RAFA, les boues sont extraites des réacteurs déjà stabilisées. Cependant un épaissement pourra s'avérer nécessaire avant déshydratation. Les filtres presse permettent d'obtenir les meilleurs rendements, malgré un coût d'investissement relativement élevé. Ces dernières années, les presses à vis sont devenues de plus en plus courantes.

Les lits de séchage ne déshydratent pas seulement les boues, ils les assèchent également. La teneur en matière sèche peut atteindre jusqu'à 70 %, en fonction du temps de rétention et des conditions climatiques (pluie, vent, humidité). L'inconvénient majeur de ce mode de traitement reste l'espace disponible (jusqu'à 4.5 ha pour les boues issus d'un process par boues activées, voir Tableau 29). Pour les lits de séchage, il est important d'ajouter qu'un système d'exploitation et d'entretien doit être prévu (et pris en compte dans l'évaluation).

Le tableau suivant indique la surface nécessaire pour les lits de séchage, en fonction des différentes alternatives de traitement proposées :

**Tableau 29** : Surface nécessaire pour la déshydratation des boues avec des lits de séchage

| Alternatives pour la station Motacusal             | Surface nécessaire pour les lits de séchage (m <sup>2</sup> ) |         |
|--|---|---------|
|  | Phase 1   | Phase 2 |
| Alternative 1: Boues activées                      | 22 848  | 44 352  |
| Alternative 2: Décantation prim. + lits bactériens | 25 536  | 38 976  |
| Alternative 3: Imhoff + lits bactériens            | 28 224  | 38 976  |
| Alternative 4: RAFA + lits bactériens              | 17 472  | 38 976  |

Pour la STEU Motacusal, compte tenu de la production de boues attendue (en fonction des différents process de traitement proposés), il est recommandé de se tourner vers des moyens de traitement plus techniques tels qu'une déshydratation par filtre presse, par presse à vis ou encore par centrifugeuse. Ces installations nécessitent néanmoins du personnel de suivi pendant toute la durée de fonctionnement de celles-ci.

### 3.3.10 Estimation des coûts

Comme pour la STEU Este, une estimation des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien a été réalisée selon la même méthode décrite au paragraphe 3.2.9.

Les tableaux suivants résument les estimations de coûts d'investissement et d'exploitation pour les quatre alternatives proposées à la STEU Motacusal.

**Tableau 30** : Coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien des différentes alternatives de la STEU Motacusal

|   | ALTERNATIVE 1     |                  | ALTERNATIVE 2     |                  | ALTERNATIVE 3     |                  | ALTERNATIVE 4     |                  |
|---|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|   | Phase 1           | Phase 2          | Phase 1           | Phase 2          | Phase 1           | Phase 2          | Phase 1           | Phase 2          |
| <b>Coûts d'investissement (US \$)</b>                         | 27 410 428        | 29 680 420       | 23 948 594        | 21 470 658       | 22 875 970        | 29 653 656       | 21 014 602        | 31 384 849       |
| <b>TOTAL (US \$)</b>  | <b>57 091 148</b> |                  | <b>45 419 252</b> |                  | <b>52 529 627</b> |                  | <b>52 399 451</b> |                  |
| <b>Coûts d'exploitation &amp; d'entretien (US \$ / année)</b> | <b>1 313 621</b>  | <b>2 566 773</b> | <b>1 336 366</b>  | <b>2 194 350</b> | <b>1 225 534</b>  | <b>2 194 350</b> | <b>1 089 275</b>  | <b>2 194 350</b> |
| <i>Personnel</i>  | 108 000           | 108 000          | 91 200            | 91 200           | 91 200            | 91 200           | 91 200            | 91 200           |
| <i>Electricité</i>  | 519 962           | 1 447 794        | 516 586           | 1 154 194        | 379 068           | 1 154 194        | 368 650           | 1 154 194        |
| <i>Transport résidus &amp; boues</i>                          | 685 660           | 1 010 979        | 728 580           | 948 956          | 755 266           | 948 956          | 629 425           | 948 956          |

\* 1 US \$ = 0,855313 €

Les tableaux détaillés des coûts d'investissement et d'exploitation pour chaque alternative sont présentés en Annexe 5.

## 4 COMPARAISON ET CHOIX DES ALTERNATIVES

### 4.1 Elaboration d'une matrice de comparaison

#### *Approche méthodologique*

*Dans le but de d'évaluer et de comparer les différentes alternatives proposées pour les deux STEU, une matrice de décision multi critères a été élaborée (outil d'aide à la décision).*

*Pour cela, des objectifs avec critères fondamentaux correspondant ont été définis. Les objectifs tiennent compte de cinq aspects importants dans le choix d'une station de traitement qui sont décrits dans le paragraphe ci-après.*

*Un nombre de points sera attribué à chaque critère et un système de notation mis en place afin de pouvoir comparer les alternatives entre elles. L'alternative qui comptabilisera le plus de points sera retenue.*

#### 4.1.1 Définition des critères d'évaluation

Les cinq objectifs pris en compte dans le dimensionnement des stations de traitement sont déclinés ci-après :

**Objectif environnemental** : considère comme indicateur le respect des paramètres de rejet prévu par la loi en vigueur en Bolivie (loi 1333/92). C'est l'objectif qui prévaut dans l'évaluation des différentes alternatives envisagées dans le but de réduire le plus possible les rejets contaminants ( $C_1$ ) tels que la  $DBO_5$ , les MES et l'azote vers le milieu naturel. Toutes les filières de traitement ont été dimensionnées pour les mêmes normes, cependant, certains process sont plus performants.

**Objectif sanitaire** : la protection et la conservation de l'environnement prévalent face au risque de contamination microbiologique des rejets en aval de la station. La minimisation des rejets d'effluents à forte teneur microbiologique, tels que les coliformes fécaux ( $C_2$ ) est prépondérante pour l'alternative retenue.

**Objectif économique** : considère principalement les coûts d'investissement ( $C_3$ ) nécessaires à chaque technologie évaluée.

Devant la complexité des objectifs techniques et technologiques, deux critères par objectif seront définis afin de couvrir l'intégralité des paramètres à prendre en compte.

**Objectif technique** : le premier critère concerne ici l'espace nécessaire ( $C_4$ ) à la construction des STEU et le second sur le choix d'une alternative présentant une production minimale de boues ( $C_5$ ), ce qui permettra de réduire les coûts de traitement et d'élimination des boues produites.

**Objectif technologique** : la minimisation de la consommation d'énergie dans les alternatives étudiées est un paramètre primordial pour comparer le degré technologique de chaque solution. De même, cet objectif envisage l'utilisation de technologies simples ( $C_6$ ) qui respectent les réglementations environnementales en minimisant l'incorporation d'équipements trop sophistiqués et non adaptés au contexte ( $C_7$ ).

Le tableau suivant reprend les différents critères décrits ci-dessus avec les indicateurs associés :



**Tableau 31** : Critères et indicateurs définis pour l'évaluation des alternatives de traitement

| Objectifs       | Critères  | Indicateurs  | Unités   |
|-----------------|---|--|--|
| Environnemental | C <sub>1</sub> : Minimiser la charge contaminante de l'effluent des STEU                          | Respect des limites de rejets selon la loi 1333/92         | DBO5 (mg/l)<br>MES (mg/l)<br>NTK (mg/l)                    |
| Sanitaire       | C <sub>2</sub> : Minimiser les risques de santé publique  | Respect de la limite admissible pour les coliformes fécaux | NMP / 100 ml   |
| Economique      | C <sub>3</sub> : Minimiser l'investissement initial   | Coûts d'investissement                                     | Coût total / alternative                                   |
| Technique       | C <sub>4</sub> : Minimiser l'investissement initial   | Superficie requise   | m <sup>2</sup>   |
|                 | C <sub>5</sub> : Minimiser la production de boues des STEU  | Production de boues  | Tonne / jour   |
| Technologique   | C <sub>6</sub> : Minimiser les coûts énergétiques   | Coût électricité   | Coût électricité / alternative<br>Niveau de sophistication |
|                 | C <sub>7</sub> : Réduire au minimum le recours à des technologies importées ou trop sophistiquées |  |  |

#### 4.1.2 Méthode d'évaluation des alternatives

Les objectifs environnementaux et sanitaires seront évalués selon le respect des normes de rejets fixées par la loi 1333/92 bolivienne (objectif atteint ou non). Pour les objectifs économiques, techniques et technologiques, des valeurs pondérées sont calculées allant de minimum 10 points à maximum 40 points. Le critère des coûts d'investissement représente le poids le plus important (40 points), suivi par les critères de production des boues et des coûts énergétiques (20 points chacun) et finalement l'espace requis et le niveau de complexité des installations (10 points chacun).

Le calcul des points pour les critères relatifs aux coûts d'investissements, aux coûts de traitement des boues (en lien avec la production de celles-ci) et aux coûts énergétiques est présenté ci-après :

$$\text{Points} = \text{Points maximum par critère} * \left[ \frac{\text{Coût Alternative la plus basse}}{\text{Coût Alternative étudiée}} \right]$$

Pour le critère C<sub>4</sub> relatif à la surface requise pour la construction ou l'extension de la station de traitement, l'attribution des points se fera comme suit :

- 100 % [Points maximum]**, si la surface nécessaire est < 50% de la surface disponible
- 80 % [Points maximum]**, si 50% < surface requise pour la STEU < 75% de la surface disponible
- 60 % [Points maximum]**, si 75% < surface requise pour la STEU < 100% de la surface disponible
- 0 %**, si l'espace requis pour la STEU est insuffisant par rapport à la surface disponible

Enfin, le critère C<sub>7</sub> tiendra compte du degré de familiarité de l'opérateur avec la technologie proposée ; le calcul des points est décrit ci-dessous :

- 100 % [Points maximum]**, si l'opérateur a de l'expérience avec la technologie proposée
- 80 % [Points maximum]**, si l'opérateur a de l'expérience avec une technologie similaire
- 60 % [Points maximum]**, si l'opérateur n'a pas d'expérience avec la technologie proposée mais que celle-ci existe au niveau national
- 0 %**, si l'opérateur n'a pas d'expérience avec la technologie proposée et qu'il y a un besoin d'élaborer une formation supplémentaire



Le total des critères correspond à 100 % dans chaque phase, ainsi si l'on considère les deux phases pour chaque alternative, le total maximum peut atteindre 200 %. Le tableau ci-après résume l'attribution des points maximum ainsi que les critères utilisés pour leur pondération.

**Tableau 32 : Pondération des critères d'évaluation**

| Objectif      | Critères       | Points max. | Pondération  |
|---------------|----------------|-------------|--|
| Economique    | C <sub>3</sub> | 40          | = [Points max.] * [\$ Alternative basse / \$ Alternative évaluée]  |
| Technique     | C <sub>4</sub> | 10          | = 100 % [Points max.], < 50% de la surface disponible<br>= 80 % [Points max.], si < 50 - 75% < de la surface disponible<br>= 60 % [Points max.], si < 75% - 100% < de la surface disponible<br>= 0 % si espace insuffisant   |
|               | C <sub>5</sub> | 20          | = [Points max.] * [\$ Alternative basse / \$ Alternative évaluée]  |
| Technologique | C <sub>6</sub> | 20          | = [Points max.] * [\$ Alternative basse / \$ Alternative évaluée]  |
|               | C <sub>7</sub> | 10          | = 100 % [Points max.], si expérience avec la technologie proposée<br>= 80 % [Points max.], si expérience avec une technologie similaire<br>= 60 % [Points max.], si pas d'expérience avec la technologie proposée mais si celle-ci existe au niveau national<br>= 0 %, si pas d'expérience avec la technologie et nécessité d'une formation supplémentaire |
| <b>TOTAL</b>  |                | <b>100</b>  |  |

L'application de la méthodologie choisie pour évaluer les alternatives de traitement permet d'avoir une mesure qualitative des objectifs environnementaux et sanitaires (Atteint, Non Atteint) ; ainsi que de pondérer quantitativement chaque critère des objectifs économiques, techniques et technologiques. Pour chaque phase, l'échelle d'évaluation varie de 0 à 100 % ; où 100 % représente la valeur optimale et 200 % représente le total pondéré de chaque option (phase 1 & 2).

#### 4.2 Comparaison et recommandation d'une filière de traitement pour la station Este

Les cinq objectifs évalués avec leurs critères respectifs (C<sub>1</sub> à C<sub>7</sub>), pour la station Este en phase 1 & 2, sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 33** : Evaluation des différents critères pour la STEU Este

| Objectifs       | Critères       | Points Max. |                                      | Alternative 1 |         | Alternative 2 |         | Alternative 3 |         |
|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
|                 |                |             |                                      | Phase 1       | Phase 2 | Phase 1       | Phase 2 | Phase 1       | Phase 2 |
| Environnemental | C <sub>1</sub> | -           | DBO <sub>5</sub>                     | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
|                 |                |             | MES                                  | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
|                 |                |             | NTK                                  | NA            | NA      | NA            | A       | NA            | A       |
| Sanitaire       | C <sub>2</sub> | -           | CF                                   | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
| Economique      | C <sub>3</sub> | 40          | Coûts d'investissement (US \$/an)    | 40            | 40      | 31            | 0       | 20            | 0       |
| Technique       | C <sub>4</sub> | 10          | Superficie requise (m <sup>2</sup> ) | 0             | 0       | 10            | 10      | 10            | 10      |
|                 | C <sub>5</sub> | 20          | Production de boues (tonne/an)       | 12            | 20      | 20            | 12      | 9             | 9       |
| Technologique   | C <sub>6</sub> | 20          | Energie (US \$/an)                   | 20            | 20      | 19            | 1       | 2             | 0       |
|                 | C <sub>7</sub> | 10          | Niveau technologique                 | 10            | 10      | 8             | 8       | 4             | 4       |
| Total par phase | -              | 100         |                                      | 82            | 90      | 88            | 31      | 45            | 23      |
| TOTAL           | -              | 200         |                                      | 172           |         | 119           |         | 68            |         |

\* A = Atteint / NA = Non Atteint

Le traitement des eaux usées au niveau de la STEU Este, basé le lagunage avec l'ajout d'une série de lagunes (avec une superficie augmentée de 35% par rapport aux lagunes existantes), présente un inconvénient pour la conformité totale à l'azote ( $C_1$ ). Seules les solutions 2 et 3 sont en mesure d'éliminer l'azote total au cours de la deuxième phase, conformément aux niveaux prévus par la réglementation environnementale. Les taux de MES ( $C_1$ ) et des coliformes fécaux ( $C_2$ ) répondent dans toutes les situations aux exigences de la loi 1333/92.

Le traitement des eaux usées par lagunage n'atteint pas les objectifs d'abattement de l'azote total. L'ajout de filtres anaérobies (alternative 2, phase 1) réduit considérablement les taux de  $DBO_5$  et de MES ; cependant, il y a peu de réduction de l'azote total. Seules les alternatives 2 (phase 2) et 3 permettant de satisfaire aux exigences environnementales en matière d'élimination de l'azote.

L'alternative 1 (lagunage), bien qu'elle ait la pondération la plus élevée (172 points), n'est pas viable car elle ne permet pas d'éliminer l'azote. Ainsi, compte tenu des lacunes existantes, aucun investissement en phase 2 n'a pas été envisagé et donc aucun coût n'est prévu pour cette phase. Il n'y a donc pas de comparaison possible entre les alternatives sur la base de ce critère. L'alternative 2 avec l'introduction de filtres anaérobies est l'alternative qui présente les coûts d'investissements les moins élevés en comparaison avec les boues activées.

Les alternatives 2 et 3, à leur tour, exigent la plus petite surface pour la station, c'est pourquoi elles obtiennent le score maximum (10 points).

Les boues activées (alternative 3) nécessitent quant à elles, la consommation d'énergie la plus élevée. Les alternatives 1 et 2 sont les plus favorables pour le projet.

**Ainsi, pour l'extension de la STEU Este, l'alternative recommandée en accord avec les critères d'évaluation, est l'alternative 2** qui correspond au système de lagunes avec introduction des filtres anaérobies en phase 1 et bassin de sédimentation puis dénitrification et lits bactériens en phase 2.

Les avantages de l'alternative sélectionnée sont :

- L'élimination de la matière organique : les objectifs de qualité des effluents peuvent être atteints dans les phases 1 et 2 ;
- Les coûts d'investissement sont modérés ;
- L'exploitation et l'entretien ne nécessitent aucun équipement spécial et les coûts sont relativement faibles ;
- La technologie utilisant des filtres anaérobies est déjà utilisée sur des installations pilotes (à petite échelle) et son fonctionnement est bien connu de l'exploitant ;
- Il n'est pas nécessaire d'importer ou d'acquérir du matériel de haute technologie.

#### **4.3 Comparaison et recommandation d'une filière de traitement pour la station MOTACUSAL**

Les cinq objectifs évalués avec leurs critères respectifs ( $C_1$  à  $C_7$ ), pour la STEU Motacusal pour les phases 1 & 2 sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 34** : Evaluation des différents critères pour la STEU Motacusal

| Objectifs       | Critères       | Points Max. |                                      | Alternative 1 |         | Alternative 2 |         | Alternative 3 |         | Alternative 4 |         |
|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
|                 |                |             |                                      | Phase 1       | Phase 2 | Phase 1       | Phase 2 | Phase 1       | Phase 2 | Phase 1       | Phase 2 |
| Environnemental | C <sub>1</sub> | -           | DBO <sub>5</sub>                     | A             | A       | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
|                 |                |             | MES                                  | A             | A       | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
|                 |                |             | NTK                                  | NA            | A       | NA            | A       | NA            | A       | NA            | A       |
| Sanitaire       | C <sub>2</sub> | -           | CF                                   | A             | A       | A             | A       | A             | A       | A             | A       |
| Economique      | C <sub>3</sub> | 40          | Coûts d'investissement (US \$/an)    | 31            | 29      | 35            | 40      | 37            | 29      | 40            | 27      |
| Technique       | C <sub>4</sub> | 10          | Superficie requise (m <sup>2</sup> ) | 10            | 10      | 10            | 10      | 10            | 10      | 10            | 10      |
|                 | C <sub>5</sub> | 20          | Production de boues (tonne/an)       | 15            | 18      | 13            | 20      | 12            | 20      | 20            | 20      |
| Technologique   | C <sub>6</sub> | 20          | Energie (US \$/an)                   | 14            | 16      | 14            | 20      | 19            | 20      | 20            | 20      |
|                 | C <sub>7</sub> | 10          | Niveau technologique                 | 4             | 6       | 6             | 6       | 6             | 6       | 6             | 6       |
| Total par phase | -              | 100         |                                      | 74            | 77      | 78            | 96      | 84            | 85      | 96            | 83      |
| TOTAL           | -              | 200         |                                      | 151           |         | 174           |         | 169           |         | 179           |         |

\* A = Atteint / NA = Non Atteint

Les paramètres DBO<sub>5</sub> et MES (C<sub>1</sub>), ainsi que coliformes fécaux (C<sub>2</sub>) des quatre solutions proposées sont conformes aux objectifs de qualité établis par la réglementation environnementale. Cependant, pour l'azote total (NTK) en phase 1 de chaque solution, l'objectif ne peut être atteint. Toutefois, dans la phase 2, la conformité à ce paramètre est totale.

Les résultats de l'évaluation pondérée du coût d'investissement (C<sub>3</sub>) pour la STEU Motacusal indiquent que les alternatives avec les lits bactériens (alternatives 2, 3 et 4) sont, de manière générale, moins onéreuses que les boues activées (alternative 1). Toutes les alternatives basées sur des lits bactériens ne présentent pas de différence majeure en termes de coût d'investissement (proche de la valeur maximale attribuée, 40 points).

En ce qui concerne l'espace requis (C<sub>4</sub>) par rapport à la superficie disponible pour la construction de la STEU, les quatre solutions proposées exigent moins de 50 % de la superficie actuellement disponible (50 ha). En effet, compte tenu du changement d'emplacement pour la nouvelle station et donc de la réduction de l'espace disponible, toutes les solutions proposées sont basées sur des systèmes intensifs.

Pour le critère technologique (C<sub>7</sub>), aucune importation n'est nécessaire pour les alternatives basées sur les lits bactériens, et leur exploitation ainsi que la maintenance s'avèrent relativement aisées, en comparaison avec l'alternative basée sur les boues activées. Ainsi, les lits bactériens semblent plus appropriés pour le choix de la technologie à employer.

Ainsi, en considérant les deux phases du projet, l'alternative la plus favorable pour la nouvelle station de traitement Motacusal est l'option basée sur les lits bactériens avec réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA) en traitement primaire (Alternative 4).

Parmi les avantages de cette alternative, on peut citer :

- L'élimination de la matière organique et l'élimination des coliformes fécaux pour atteindre les objectifs de qualité des effluents qui peuvent être atteints dans les phases 1 et 2 ;
- L'exploitant connaît bien le fonctionnement et l'entretien des lits bactériens ;
- En Bolivie, il y a déjà des expériences de station de traitement qui opèrent des lits bactériens, comme c'est le cas à Sucre (à grande échelle) et son fonctionnement est connu par l'opérateur.

#### 4.4 Commentaires et choix du Client / bailleur de fonds

##### Approche méthodologique

*Un rapport provisoire a été soumis au Client 3 mois après le démarrage de l'étude de faisabilité. Une première série de commentaires, de la part du Client mais également du bailleur de fonds ont permis des ajustements puis l'élaboration de la version définitive. Les commentaires portaient essentiellement sur l'évolution de la population et les alternatives proposées pour chaque station de traitement (files eau et boue).*

*La version définitive du rapport a été soumise 1,5 mois après, mais de nombreuses discussions ont eu lieu en Bolivie directement (voir ci-dessous) afin de trouver un accord ferme et définitif sur les critères de dimensionnement d'une part et la solution retenue pour chaque station de traitement d'autre part dans le but d'élaborer le rapport d'étude de faisabilité définitif.*

##### **Discussion sur l'évolution de la population**

La méthode d'évolution de la population par l'approche des connexions au réseau a été encouragée et validée par la SAGUAPAC. De plus, pour la STEU Este, il n'y a pas de grande variation entre les

deux approches, les chiffres arrêtés pour les horizons du projet sont présentés dans le tableau ci-après :

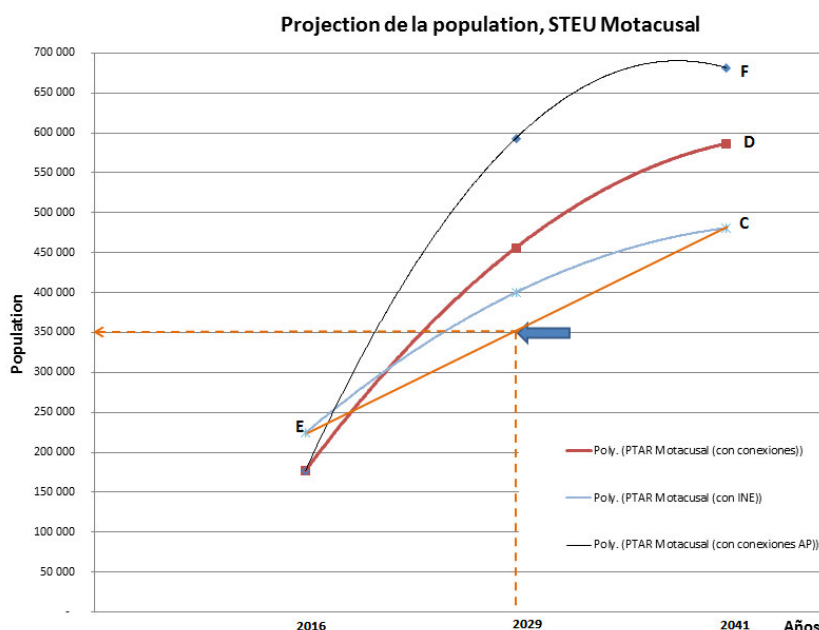
**Tableau 35 :** Population pour le dimensionnement de l’extension de la STEU Este

|   | Phase 1 (2029) | Phase 2 (2041) |
|---|----------------|----------------|
| Population future connectée à la STEU Este (petites industries incl.) | 376 000        | 393 000        |

La méthode de la SAGUAPAC par l’approche des connexions au réseau d’eau potable comprend les raccordements commerciaux, il n’est donc pas nécessaire de considérer 15% de plus pour les petites industries (population = eq. Hab.). D’autre part, comme la population est relativement similaire en phases 1 & 2, il est recommandé de réaliser directement le dimensionnement pour l’horizon 2041. Le seul objectif de la phase 2 consistera à la mise en place du traitement de l’azote.

Pour la station de traitement Motacusal, les écarts de population entre les deux approches proposées sont plus importants. De plus, contrairement à nos informations initiales, un branchement au réseau d’eau potable ne correspond pas à un branchement au réseau d’assainissement (la croissance sur la base des BP au réseau d’assainissement est donc exclue). L’évolution des branchements d’eau potable permet d’obtenir une croissance inférieure et plus réaliste. Ainsi à l’horizon 2041, la population est réduite à 586 000 habitants. Comme celle-ci est basée sur les BP eau, elle comprend déjà les consommations commerciales (qui sont relativement peu élevées).

A l’horizon 2029, la population considérée sera basée sur la croissance linéaire des derniers recensements de Bolivie. Cette projection est inférieure aux précédentes hypothèses et semble être la plus réaliste. Cette approche se justifie par le fait que la densité de saturation et la mise en exploitation des stations sont plus probables après 2029.



**Figure 28 :** Comparaison des méthodes d’évolution de la population pour la STEU Motacusal

Les habitants qui seront raccordés à la STEU Motacusal sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 36 :** Population pour le dimensionnement de l’extension de la STEU Motacusal

|   | Phase 1 (2029) | Phase 2 (2041) |
|---|----------------|----------------|
| Population future connectée à la STEU Este (petites industries incl.) | 385 000        | 586 000        |

### **Concentrations initiales prévues dans les TdR**

Toutes les données d'exploitation (de l'ensemble des STEU de Santa Cruz) n'étaient pas disponibles mais celles de la STEU Este ont pu être récupérées et analysées (cf. § 1.3.2). Les données sont disponibles sur une période de 10ans et des mesures des différents paramètres ont été faites tous les mois. Cela a permis d'avoir une bonne vision de la nature des eaux usées, de leur évolution au cours d'une année, etc. Très vite, il est apparu clairement une grosse différence entre les concentrations des effluents relevées à la station de traitement en exploitation et les concentrations indiquées dans les TdR comme l'indique le tableau suivant :

**Tableau 37** : Différences de concentrations des effluents

| <b>Paramètres</b> | <b>STEU Este<br/>(données d'exploitation)</b> | <b>STEU Motacusal<br/>(TdR)</b> |
|-------------------|---|---------------------------------|
| DCO               | 879 mg/l                                      | 677 mg/l                        |
| DBO <sub>5</sub>  | 393 mg/l                                      | 289 mg/l                        |
| MES               | 681 mg/l                                      | 373 mg/l                        |
| MVS               | 595 mg/l                                      | 286 mg/l                        |
| NTK               | 112 mg/l                                      | 66,7 mg/l                       |
| P                 | 43 mg/l                                       | 12,0 mg/l                       |

Après de longues discussions avec le Client, cette situation s'explique par le fait que certaines industries sont connectées sur le réseau des eaux usées domestiques. Sur la base de cette information, il a été proposé dans un premier temps, d'utiliser les concentrations issues des données d'exploitation pour le dimensionnement de la station Este et de conserver les concentrations issues des TdR pour la nouvelle station.

Cette proposition a été écartée par la SAGUAPAC qui s'est engagée à mettre en œuvre un programme de contrôle des rejets d'effluents industriels. Pour cette raison, les concentrations des effluents indiquées dans les TdR seront utilisées pour le dimensionnement des deux stations.

### **Accord du Client sur les solutions recommandées pour chaque station**

Concernant l'**extension de la STEU Este**, le Client tenait à conserver les lagunes existantes, d'une part pour limiter les investissements et d'autre part, parce que l'ensemble des stations de traitement existantes à Santa Cruz sont basées sur ce même process ; celui-ci est donc bien connu et maîtrisé au niveau de l'opérateur. Cependant, dans un souci de respect des normes de rejet des effluents, et notamment concernant l'azote, d'importants changements dans le procédé de traitement sont nécessaires.

Malgré les prescriptions des TdR et la présentation d'options viables permettant d'atteindre les objectifs de traitement, le bailleur de fonds (KFW) souhaite ajouter l'étude d'une nouvelle alternative avec l'introduction de RAFA en lieu et place des filtres anaérobies et des lagunes anaérobies proposés en phase 1. La raison principale de cette demande est le fait que la gestion des boues issues des lagunes anaérobies est inexistante ce qui entrave les performances des lagunes. L'introduction des RAFA à la STEU Este permettrait une évacuation plus aisée.

Le Client EMAGUA / SAGUAPAC souhaite également l'étude de l'installation d'aérateurs de surface dans les lagunes facultatives dans l'optique d'améliorer les performances du procédé de lagunage afin d'atteindre les objectifs de traitement en phase 1. En effet, l'installation d'une aération de surface dans les lagunes facultatives permet d'augmenter d'environ 35% la réduction de la DCO par rapport à une lagune facultative classique.

Pour la **construction de la nouvelle station de traitement Motacusal**, suite au changement de site pour sa construction, il était clair dès le début qu'un procédé de traitement par lagunage n'était pas

envisageable en raison de l'espace restreint. Après analyse et discussion des quatre alternatives proposées, la SAGUAPAC a validé les résultats de l'évaluation et retient donc l'alternative 4 décrite ci-après :

- Phase 1 :**     File eau : RAFA + lits bactériens + désinfection  
                  File boue : RAFA + épaissement des boues + déshydratation mécanique + lits de séchage
- Phase 2 :**     File eau : bassins de dénitrification + lits bactériens + désinfection  
                  File boue : épaissement des boues + digesteurs + épaissement des boues digérées + déshydratation mécanique + lits de séchage

Malgré une technologie relativement nouvelle pour l'opérateur, celle-ci existe déjà dans le pays et/ou à une échelle pilote à Santa Cruz.

### ***Gestion et traitement des boues***

Actuellement, sur la station Este, la déshydratation des boues, bien que non régulière, est assurée par des Géotubes®. Cette technologie n'est pas viable de par son caractère d'usage unique et par le fait qu'aucune gestion des boues déshydratées n'y est associée ensuite.

En sus de la déshydratation proposée, les recommandations sont de pousser au maximum le traitement des boues jusqu'au séchage pour les deux stations de traitement. Ainsi, pour la STEU Este, les Géotubes® seront abandonnés au profit des lits de séchage des boues ou au profit d'un séchage solaire. Compte tenu des conditions climatiques, afin d'obtenir des bonnes performances, les lits de séchage seront couverts.

A la STEU Motacusal, après la déshydratation mécanique par centrifugeuse, un séchage par lits de séchage ou par séchage solaire sera envisagé afin d'obtenir des boues d'une siccité supérieure à 40%, permettant ainsi une réduction de leur volume et des coûts de manutention et de transport qui y sont liés. En sortie de centrifugeuse, la siccité attendue des boues se situe autour de 20%, si l'on souhaite aller au-delà, seules les techniques de séchage sont envisageables car l'eau contenue dans les boues ne pourra plus être retirée par gravité mais uniquement par évaporation. L'avantage premier du séchage solaire par rapport aux lits de séchage est leur performance sur un espace réduit. Néanmoins, les coûts d'investissements mais également d'exploitation (extracteur air, ventilation, etc.) sont des coûts énergétiques non négligeables en comparaisons des lits de séchages. Le séchage solaire n'ayant pas été envisagé au préalable, les calculs basiques de dimensionnement afin de définir les coûts sont présentés en Annexe 4.



## CONCLUSION

La ville de Santa Cruz en Bolivie connaît actuellement une croissance urbaine importante et la pression sur les installations d'eau et d'assainissement est extrêmement forte. Malgré plusieurs stations de traitement en exploitation (pour une capacité journalière de près de 140 000 m<sup>3</sup>), certaines sont arrivées à saturation et ne permettent plus de répondre aux besoins. Plus encore, leurs performances se voient réduites par le flux massif arrivant à la STEU.

C'est dans ce contexte qu'une étude de faisabilité a été commanditée afin d'étendre les capacités de traitement de la ville par la réhabilitation et l'extension de la STEU Este et la construction d'une nouvelle STEU spécifiquement pour les zones péri-urbaines Nord de la ville. L'étude comprend deux horizons de projet avec des objectifs de traitement différents ; à terme, un traitement de l'azote est requis. L'objectif de cette étude était de proposer différentes solutions de traitement, puis de les comparer afin de retenir la solution la plus appropriée au contexte. Pour cela une matrice multicritères a été élaborée en tenant compte des aspects environnementaux, sanitaires, économiques, techniques et technologiques.

La caractérisation des eaux usées sur la base des données d'exploitation, a permis de mettre en lumière les fortes charges des ERU arrivant à la STEU. Cela s'explique par des connexions de petites industries au réseau ; des mesures de la part de l'exploitant devront être prises afin de remédier à cette situation pour ne pas surcharger la STEU. Deux méthodes de détermination de la population aux différents horizons du projet ont été utilisées, présentant parfois des différences importantes. Cette étape est primordiale dans le dimensionnement afin de ne pas surestimer les besoins tout en assurant la couverture de ceux-ci pour plusieurs années.

Les solutions de traitement proposées devaient tout d'abord correspondre aux objectifs de purification imposés par la législation en vigueur en Bolivie, mais également tenir compte des spécificités locales. La matrice multicritères a tenté de regrouper tous ces aspects en leur attribuant un nombre de point selon l'importance afin de réaliser un classement des alternatives proposées.

Pour la construction de la nouvelle STEU Motacusal, après analyse des différentes options envisagées et après concertation avec les parties prenantes du projet, le choix du process de traitement s'est porté sur les lits bactériens avec des réacteurs anaérobies en traitement primaire. En seconde phase, des travaux devront être réalisés afin d'atteindre les objectifs de traitement en termes d'azote. Une filière boues permettra également de traiter les boues d'épuration afin d'obtenir une siccité supérieure à 40%.

Concernant la STEU Este, la problématique était un peu différente puisqu'un process par lagunage est déjà en place. Dans la phase 1 du projet, l'introduction de filtres anaérobies est proposé afin d'atteindre les objectifs de traitement notamment de la pollution carbonée. Après réflexion, le Client et le bailleur de fonds ont souhaité l'étude de nouvelles alternatives pour la STEU Este. Pour l'exploitant, dans le but de continuer à exploiter les lagunes en place, l'installation d'aérateurs de surface au niveau des lagunes alternatives permettrait ainsi d'améliorer le traitement de la pollution carbonée. Le bailleur de fonds souhaite quant à lui abandonner les lagunes anaérobies au profit de réacteurs anaérobies (RAFA) permettant une gestion des boues plus aisée. Une combinaison des procédés proposés par chacun devrait aboutir à une nouvelle alternative de traitement. Quoiqu'il en soit, ce débat porte uniquement sur la phase 1 du projet. En seconde phase du projet, pour l'abattement de la pollution azotée, il est recommandé d'adopter un process par lits bactériens avec bassin de dénitrification. Cela correspond à une transformation importante de la station.

Ainsi, lorsque les procédés de traitement seront adoptés par tous, la seconde étape de cette étude de faisabilité consistera à préparer un pré dimensionnement complet (de type avant-projet détaillé) de chaque solution en vue d'une réalisation prochaine des travaux, le financement étant déjà disponible. En vue d'approfondir cette étude, une réflexion sur la gestion mais surtout le devenir (valorisation) des boues devrait être menée afin de « parfaire » la filière de traitement.

## BIBLIOGRAPHIE

Andreoli Cleverson Vitorio, Von Sperling Marcos & Fernandes Fernando. **Sludge Treatment and Disposal – Volume 6**. IWA Publishing, 2007, 256 p. ISBN 1 84339 166 X

AQUASTAT. **Water Withdrawal by Sector, around 2010**. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2016. [www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf)

ATV-DVWK Specialist Committees KA 5 & KA 6. **Dimensioning of single stage activated sludge plants**, Standard ATV-DVWK-A 131E. DCM, May 2000, 57 p. ISBN 3-935669-96-8

Brison C., Perret J.M., Canler J.P. **Le séchage des boues : état actuel de l'art et retour d'expérience**. Document technique FNDAE n°36, 2010. Cemagref, Département Ecotechnologie, 33 p.

Cossio C. (Bolivia), Mcconville J., Rauch S. & Mercado A. **Wastewater management in developing countries : Bolivia cases studies**. 40<sup>th</sup> WEDC International Conference, Loughborough, UK, 2017.

Degremont, Suez. **Mémento technique de l'eau pour les professionnels du traitement de l'eau**. Edition digitale. < <https://www.suezwaterhandbook.fr/>>

De Lemos Chernicharo Carlos Augusto. **Anaerobic Reactors – Volume 4**. IWA Publishing, 2007, 188 p. ISBN 1 84339 164 3

DWA Themen, **Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen**. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., November 2017, 307p. ISBN 978-3-88721-409-8

DWA-Regelwerk. Arbeitsblatt DWA-A 131. **Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen**. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., June 2016, 76 p. ISBN 978-3-88721-331-2.

DWA-Regelwerk. Arbeitsblatt DWA-A 198. **Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen**. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., April 2003, 48 p. ISBN 978-3-924063-48-1.

Deronzier Gaëlle, Schérite Sylvie, Racault Yvan, Canler Jean-Pierre, Liénard Alain, Héduit Alain, Duchène Philippe. **Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités**. Document technique FNDAE n°25. Cemagref Editions, 2001, 79 p. ISBN 2-85362-555-9

France. Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable. **Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub>**. Dernière modification le 1<sup>er</sup> janvier 2016. [Consulté le 22/10/2018] <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000276647>

Gonçalves, R., 1999. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. PROSAB. (in Portuguese).

GITEC Consult GmbH. **Estudio de Factibilidad Cooperativa SAGUAPAC. Volumen 1 : Informe Principal**. 2015, 186 p.

Lentini, E. E. **El Futuro de los Servicios de Agua y Saneamiento en América Latina: Desafíos de los Operadores de Áreas Urbanas de más de 300.000 Habitantes**. Washington, DC, Inter-American Development Bank (IADB), 2015.

Mara D. D. **Design manual for waste stabilization ponds in India**. Lagoon Technology International Ltd. Leeds, 1997.

Mara D. D. **Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries**. Earthscan, 2004, 310 p. ISBN 1-84407-019-0

Metcalf & Eddy, Inc. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition** (International Edition). McGraw-Hill Education, 2004, 1 819 p. ISBN 007-124140-X

Noyola Adalberto, Padilla-Rivera Alejandro, Morgan-Sagastume Juan Manuel, Güereca Leonor Patricia, Hernandez-Padilla Flor. **Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America**. *Clean – Soil, Air, Water*, 2012, 40 (9), 926 – 932.

Plan Maestro – **Planificación del Sistema de Alcantarillado Sanitario al año 2040**. SAGUAPAC, 2017.

**Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse**. AERM, Juillet 2007. [http://eau-rhin-meuse.fr/procedes\\_epurations/](http://eau-rhin-meuse.fr/procedes_epurations/)

**Recueil de textes sur l'assainissement textes techniques relatifs à l'assainissement collectif des eaux usées domestiques**. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer. 2009

Sadowski Antoine-Georges. **Traitement des eaux usées urbaines**. Lyonnaise des Eaux, CIRSEE/ENGEES, Mai 2002, 523 p.

**The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater – The Untapped Resource**. 2017, Paris, UNESCO.

Van Haandel, A.C. & Lettinga G. **Anaerobic Sewage Treatment: A practical guide for regions with a hot climate**. John Wiley & Sons, Chichester, 1994.

Von Sperling Marcos & Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. **Biological wastewater treatment in warm climate regions – Volume 1 & 2**. IWA Publishing, 2005, 1 460 p. ISBN 1 84339 002 7 (set)

Von Sperling Marcos. **Water Characteristics, Treatment and Disposal – Volume 1**. IWA Publishing, 2007, 304 p. ISBN 1 84339 161 9

Von Sperling Marcos. **Basic Principles of Wastewater Treatment – Volume 2**. IWA Publishing, 2007, 208 p. ISBN 1 84339 162 7

Von Sperling Marcos. **Waste Stabilization ponds – Volume 3**. IWA Publishing, 2007, 175 p. ISBN 1 84339 163 5

Von Sperling Marcos. **Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors – Volume 5**. IWA Publishing, 2007, 336 p. ISBN 1 84339 165 1

UNICEF/OMS. **Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment**. New York/Genève, UNICEF/OMS Programme conjoint de surveillance de l’approvisionnement en eau et l’assainissement. [www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMP-Update-report-2015\\_English.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-Update-report-2015_English.pdf)

Wagner Wolfgang. **Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia**. March 2010



# **ANNEXES**

- ANNEXE 1      CARTES**
- ANNEXE 2      DETAILS EVOLUTION DE LA POPULATION DE SANTA CRUZ**
- ANNEXE 3      ANALYSE DES DONNEES D'EXPLOITATION DE LA STEU ESTE**
- ANNEXE 4      DETAILS DES CALCUL DE PROCESS POUR LA STEU MOTACUSAL**
- ANNEXE 5      DETAILS DES COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION**
- ANNEXE 6      DETAILS DES CALCULS DANS LA MATRICE DE COMPARAISON**
- ANNEXE 7      NOTE DE CALCUL DE LA LIGNE D'EAU – STEU MOTACUSAL**
- ANNEXE 8      PLAN D'IMPLANTATION DE LA STEU MOTACUSAL**

1



## **ANNEXE 1: CARTES**



### Evolution des secteurs de contribution aux STEU Este et Motacusal

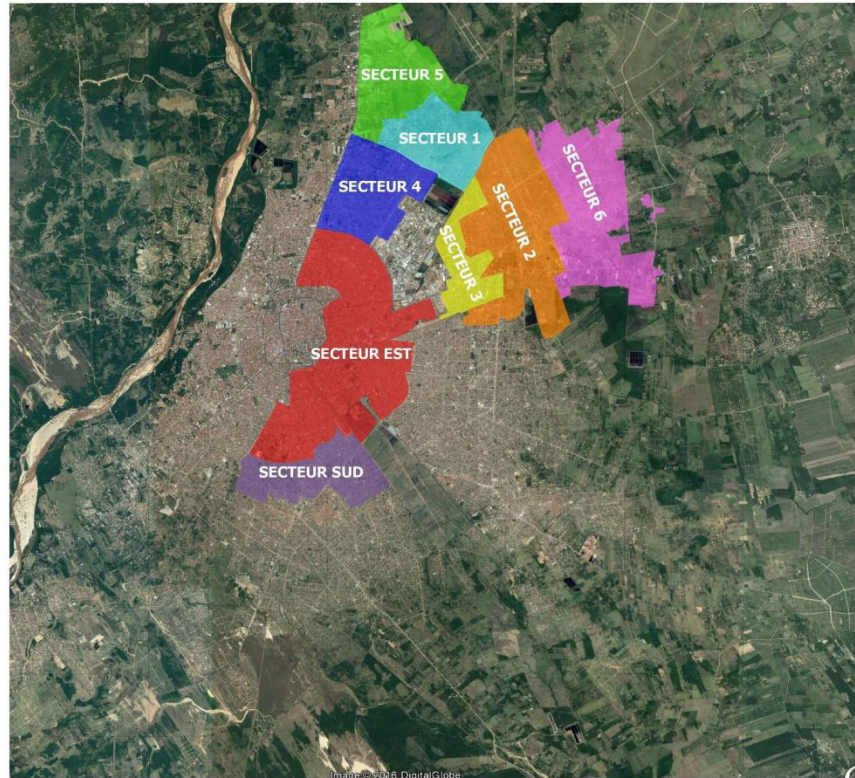


Figure A

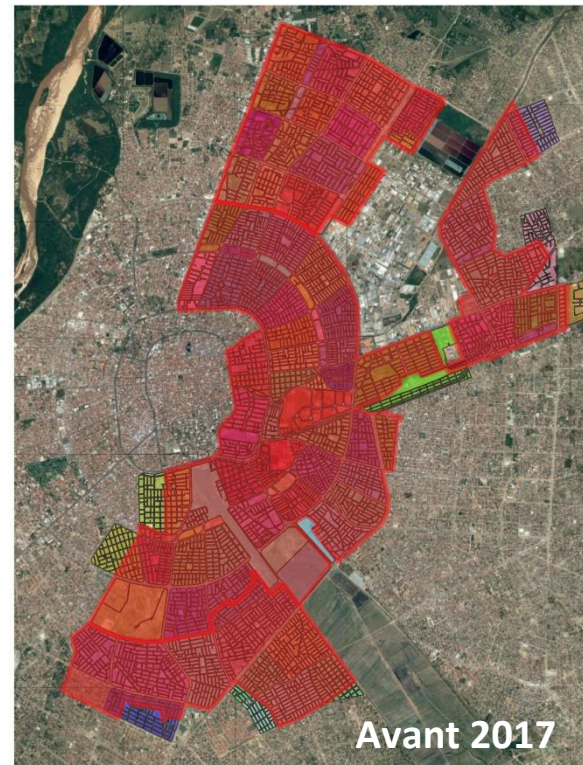


Figure B

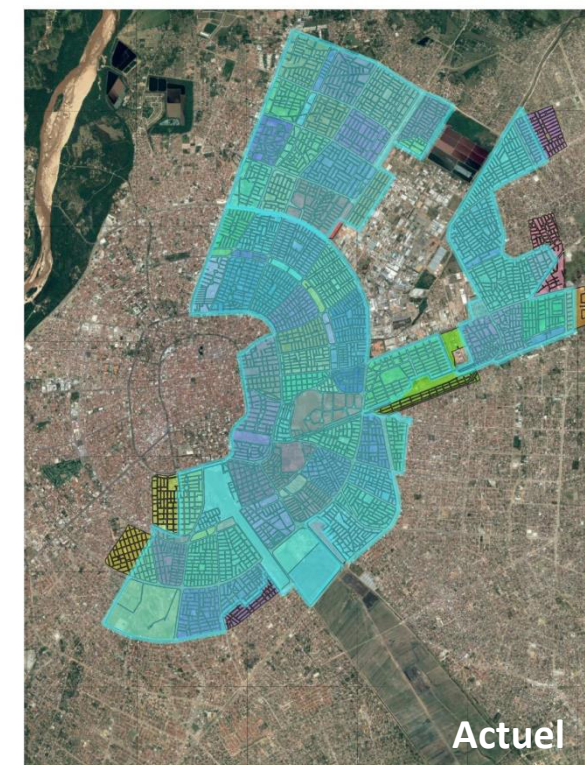


Figure C

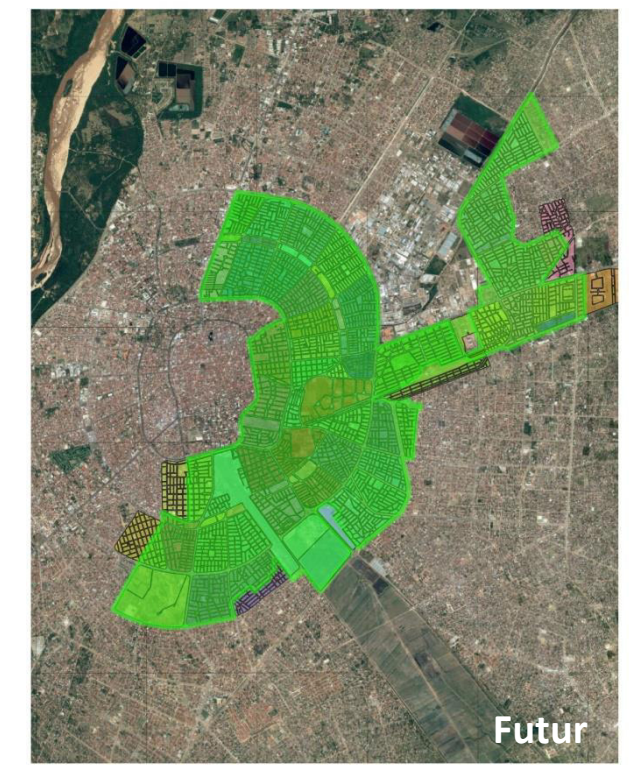


Figure D

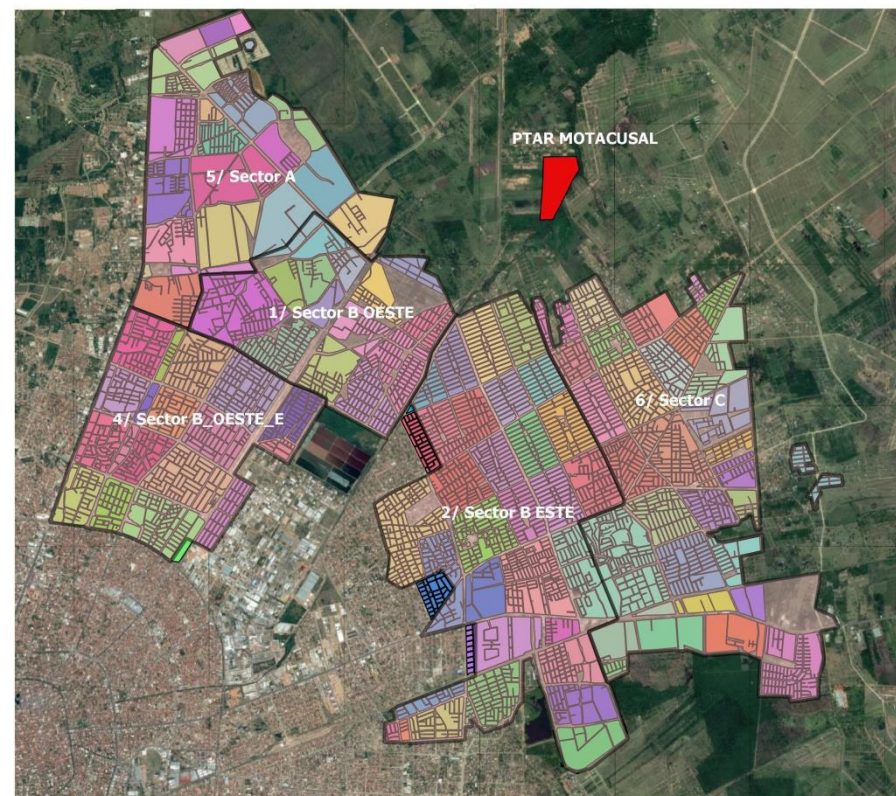


Figure E

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Figure A</b> | Secteurs raccordés à la STEU Este et à la future STEU Motacusal                          |
| <b>Figure B</b> | Secteurs raccordés à la STEU Este jusqu'en 2017  |
| <b>Figure C</b> | Secteurs raccordés actuellement à la STEU Este   |
| <b>Figure D</b> | Secteurs raccordés à la STEU Este après démarrage de l'exploitation de la STEU Motacusal |
| <b>Figure E</b> | Secteurs raccordés à la STEU Motacusal   |



# 2

## **ANNEXE 2: DETAILS EVOLUTION DE LA POPULATION DE SANTA CRUZ**



ANNEXE 2

Population Santa Cruz en fonction des recensements INE - Secteur STEU ESTE & STEU MOTACUSAL

| Tous secteurs | Taux d'accroissement |           |           |           |
|---------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|               | 2012-2016            | 2016-2026 | 2026-2036 | 2036-2041 |
| Tous secteurs | 4.99%                | 1.98%     | 1.09%     | 1.32%     |
| Secteur C     | 7.49%                | 2.97%     | 1.64%     | 1.98%     |

| 1/ Sector B Oeste |               |               |               |               |               |               |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| UV                | 2012          | 2016          | 2026          | 2029          | 2036          | 2041          |
| UV-224            | 2 122         | 2 578         | 3 137         | 3 240         | 3 496         | 3 733         |
| ET-28             | 2 428         | 2 950         | 3 589         | 3 708         | 4 000         | 4 271         |
| UV-194            | 5 794         | 7 040         | 8 565         | 8 848         | 9 546         | 10 192        |
| UV-195            | 6 951         | 8 446         | 10 275        | 10 452        | 11 452        | 12 228        |
| UV-223            | 2 507         | 3 046         | 3 706         | 3 828         | 4 130         | 4 410         |
| UV-225            | 5 471         | 6 648         | 8 087         | 8 355         | 9 013         | 9 624         |
| UV-209            | 69            | 84            | 102           | 105           | 114           | 121           |
| UV-217            | 154           | 187           | 228           | 235           | 254           | 271           |
| UV-218            | 1 508         | 1 832         | 2 229         | 2 303         | 2 484         | 2 653         |
| UV-219            | 459           | 558           | 679           | 701           | 756           | 807           |
| UV-220            | 529           | 643           | 782           | 808           | 872           | 931           |
| UV-221            | 476           | 578           | 704           | 727           | 784           | 837           |
| UV-222            | 400           | 486           | 591           | 611           | 659           | 704           |
| UV-208            | 339           | 412           | 501           | 518           | 559           | 596           |
| UV-208A           | 32            | 39            | 47            | 49            | 53            | 56            |
| UV-208B           | 1 004         | 1 220         | 1 484         | 1 533         | 1 654         | 1 766         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>30 243</b> | <b>36 747</b> | <b>44 706</b> | <b>46 184</b> | <b>49 825</b> | <b>53 202</b> |

| 2/ Sector B Este |               |                |                |                |                |                |
|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| UV               | 2012          | 2016           | 2026           | 2029           | 2036           | 2041           |
| UV-144A          | 11 401        | 13 853         | 16 853         | 17 410         | 18 783         | 20 056         |
| UV-152           | 6 791         | 8 251          | 10 039         | 10 371         | 11 188         | 11 946         |
| UV-196           | 3 090         | 3 754          | 4 568          | 4 719          | 5 091          | 5 436          |
| ET-50            | 1 334         | 1 621          | 1 972          | 2 037          | 2 198          | 2 347          |
| UV-84B           | 970           | 1 179          | 1 434          | 1 481          | 1 598          | 1 706          |
| ET-33            | 265           | 322            | 392            | 405            | 437            | 466            |
| UV-85B           | 2 249         | 2 733          | 3 325          | 3 434          | 3 705          | 3 956          |
| UV-196A          | 1 044         | 1 268          | 1 543          | 1 594          | 1 719          | 1 836          |
| UV-197           | 7 901         | 9 600          | 11 679         | 12 066         | 13 017         | 13 899         |
| UV-197A          | 5 540         | 6 731          | 8 189          | 8 460          | 9 127          | 9 746          |
| UV-198           | 47            | 57             | 69             | 72             | 77             | 83             |
| UV-155           | 752           | 914            | 1 112          | 1 148          | 1 239          | 1 323          |
| UV-226           | 4 291         | 5 214          | 6 343          | 6 553          | 7 069          | 7 548          |
| UV-206           | 3 839         | 4 665          | 5 675          | 5 863          | 6 325          | 6 753          |
| UV-207           | 4 985         | 6 057          | 7 369          | 7 613          | 8 213          | 8 769          |
| UV-205           | 2 210         | 2 685          | 3 267          | 3 375          | 3 641          | 3 888          |
| UV-204           | 4 239         | 5 151          | 6 266          | 6 473          | 6 984          | 7 457          |
| UV-202           | 3 898         | 4 736          | 5 762          | 5 953          | 6 422          | 6 857          |
| UV-203           | 4 946         | 6 010          | 7 311          | 7 553          | 8 149          | 8 701          |
| UV-200           | 3 178         | 3 861          | 4 698          | 4 853          | 5 236          | 5 591          |
| UV-201           | 3 855         | 4 684          | 5 699          | 5 887          | 6 351          | 6 781          |
| UV-199           | 5 120         | 6 221          | 7 569          | 7 819          | 8 435          | 9 007          |
| UV-261           | 529           | 643            | 782            | 808            | 872            | 931            |
| UV-262           | 1 667         | 2 025          | 2 464          | 2 546          | 2 746          | 2 932          |
| UV-310           | 2 757         | 3 350          | 4 075          | 4 210          | 4 542          | 4 850          |
| UV-311           | 2 083         | 2 531          | 3 079          | 3 181          | 3 432          | 3 664          |
| UV-312           | 3 245         | 3 943          | 4 797          | 4 955          | 5 346          | 5 708          |
| UV-313           | 3 119         | 3 790          | 4 611          | 4 763          | 5 139          | 5 487          |
| UV-199A          | 2 965         | 3 603          | 4 383          | 4 528          | 4 885          | 5 216          |
| UV-268           | 44            | 53             | 65             | 67             | 72             | 77             |
| <b>TOTAL</b>     | <b>98 354</b> | <b>119 504</b> | <b>145 389</b> | <b>150 196</b> | <b>162 037</b> | <b>173 018</b> |

| 3/ Sector B Este (PTAR Este) |               |               |               |               |               |               |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| UV                           | 2012          | 2016          | 2026          | 2029          | 2036          | 2041          |
| UV-141                       | 5 027         | 6 108         | 7 431         | 7 677         | 8 282         | 8 843         |
| UV-144                       | 9 882         | 12 007        | 14 608        | 15 091        | 16 281        | 17 384        |
| UV-151                       | 8 484         | 10 308        | 12 541        | 12 956        | 13 977        | 14 925        |
| ET-32                        | 452           | 549           | 668           | 690           | 745           | 795           |
| UV-196                       | 3 090         | 3 754         | 4 568         | 4 719         | 5 091         | 5 436         |
| UV-141B                      | 12 319        | 14 968        | 18 210        | 18 812        | 20 295        | 21 671        |
| UV-153                       | 7 252         | 8 811         | 10 720        | 11 075        | 11 948        | 12 757        |
| UV-154                       | 4 758         | 5 781         | 7 033         | 7 266         | 7 839         | 8 370         |
| ET-49                        | 556           | 676           | 822           | 849           | 916           | 978           |
| UV-196A                      | 447           | 543           | 661           | 683           | 737           | 787           |
| UV-155                       | 188           | 228           | 278           | 287           | 310           | 331           |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>52 455</b> | <b>63 735</b> | <b>77 541</b> | <b>80 104</b> | <b>86 420</b> | <b>92 276</b> |

| 4/ Sector B Oeste (PTAR Este) |               |               |               |                |                |                |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| UV                            | 2012          | 2016          | 2026          | 2029           | 2036           | 2041           |
| UV-65                         | 3 140         | 3 815         | 4 642         | 4 795          | 5 173          | 5 524          |
| UV-66                         | 2 501         | 3 039         | 3 697         | 3 819          | 4 120          | 4 400          |
| UV-67                         | 6 626         | 8 051         | 9 795         | 10 119         | 10 916         | 11 656         |
| UV-69                         | 2 320         | 2 819         | 3 429         | 3 543          | 3 822          | 4 081          |
| UV-141A - MPP                 | 4 171         | 5 068         | 6 166         | 6 370          | 6 872          | 7 337          |
| ET-30                         | 450           | 547           | 665           | 687            | 741            | 792            |
| UV-70                         | 2 973         | 3 612         | 4 395         | 4 540          | 4 898          | 5 230          |
| UV-71                         | 8 840         | 10 741        | 13 068        | 13 500         | 14 564         | 15 551         |
| UV-73                         | 2 221         | 2 699         | 3 283         | 3 392          | 3 659          | 3 907          |
| ET-29                         | 291           | 354           | 430           | 444            | 479            | 512            |
| UV-74                         | 2 707         | 3 289         | 4 002         | 4 134          | 4 460          | 4 762          |
| UV-75                         | 7 152         | 8 690         | 10 572        | 10 922         | 11 783         | 12 581         |
| UV-77                         | 4 880         | 5 929         | 7 214         | 7 452          | 8 040          | 8 585          |
| UV-79A                        | 6 019         | 7 313         | 8 897         | 9 192          | 9 916          | 10 588         |
| UV-78                         | 5 680         | 6 901         | 8 396         | 8 674          | 9 358          | 9 992          |
| UV-79                         | 6 899         | 8 383         | 10 198        | 10 535         | 11 366         | 12 136         |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>66 870</b> | <b>81 250</b> | <b>98 849</b> | <b>102 117</b> | <b>110 168</b> | <b>117 633</b> |

| 5/ Sector A  |               |               |               |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| UV           | 2012          | 2016          | 2026          | 2029          | 2036          | 2041          |
| UV-193       | 1 634         | 1 985         | 2 415         | 2 495         | 2 692         | 2 874         |
| ET-96        | 549           | 667           | 812           | 838           | 904           | 966           |
| UV-211       | 495           | 601           | 732           | 756           | 816           | 871           |
| UV-210       | 2 507         | 3 046         | 3 706         | 3 828         | 4 130         | 4 410         |
| UV-209       | 138           | 168           | 204           | 211           | 227           | 243           |
| UV-216       | 4 280         | 5 200         | 6 327         | 6 536         | 7 051         | 7 529         |
| UV-212       | 4 242         | 5 154         | 6 271         | 6 478         | 6 989         | 7 462         |
| UV-213       | 670           | 814           | 990           | 1 023         | 1 104         | 1 179         |
| UV-214       | 2 295         | 2 789         | 3 393         | 3 505         | 3 781         | 4 037         |
| UV-215       | 1 654         | 2 010         | 2 445         | 2 526         | 2 725         | 2 910         |
| ET-112       | 288           | 350           | 426           | 440           | 474           | 507           |
| SI-1         | 38            | 46            | 56            | 58            | 63            | 67            |
| SI-2         | 545           | 662           | 806           | 832           | 888           | 959           |
| SI-3         | 641           | 779           | 948           | 979           | 1 056         | 1 128         |
| SI-4         | 100           | 122           | 148           | 153           | 165           | 176           |
| SN-102       | 11            | 13            | 16            | 17            | 18            | 19            |
| SN-103       | 35            | 43            | 52            | 53            | 58            | 62            |
| SN-122       | 563           | 684           | 832           | 860           | 928           | 990           |
| <b>SN</b>    | <b>1 854</b>  | <b>2 253</b>  | <b>2 741</b>  | <b>2 831</b>  | <b>3 054</b>  | <b>3 261</b>  |
| sn           |               |               | 8 436         | 8 778         | 9 403         | 10 037        |
| sn           |               |               |               |               | 9 373         | 10 007        |
| <b>TOTAL</b> | <b>22 539</b> | <b>27 386</b> | <b>41 754</b> | <b>43 198</b> | <b>55 909</b> | <b>64 867</b> |

| 6/ Sector C  |               |               |               |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| UV           | 2012          | 2016          | 2026          | 2029          | 2036          | 2041          |
| UV-199A      | 2 965         | 3 957         | 5 303         | 5 567         | 6 237         | 6 879         |
| UV-265       | 134           | 179           | 240           | 252           | 282           | 311           |
| UV-266       | 127           | 170           | 227           | 238           | 267           | 295           |
| UV-267       | 297           | 396           | 531           | 558           | 625           | 689           |
| UV-270       | 244           | 326           | 436           | 458           | 513           | 566           |
| UV-314       | 397           | 530           | 710           | 745           | 835           | 921           |
| UV-315       | 819           | 1 093         | 1 465         | 1 538         | 1 723         | 1 900         |
| UV-316       | 1 916         | 2 557         | 3 427         | 3 598         | 4 030         | 4 445         |
| UV-317       | 2 909         | 3 883         | 5 203         | 5 462         | 6 119         | 6 749         |
| UV-307       | 1 992         | 2 659         | 3 563         | 3 740         | 4 190         | 4 622         |
| UV-305       | 1 356         | 1 810         | 2 425         | 2 546         | 2 852         | 3 146         |
| UV-318       | 215           | 287           | 385           | 404           | 452           | 499           |
| UV-319       | 539           | 719           | 964           | 1 012         | 1 134         | 1 251         |
| UV-320       | 2 520         | 3 364         | 4 507         | 4 732         | 5 301         | 5 847         |
| UV-321       | 5 368         | 7 165         | 9 601         | 10 080        | 11 291        | 12 454        |
| UV-323       | 534           | 713           | 955           | 1 003         | 1 123         | 1 239         |
| UV-326       | 323           | 431           | 578           | 607           | 679           | 749           |
| UV-325       | 434           | 579           | 776           | 815           | 913           | 1 007         |
| UV-326       | 526           | 702           | 941           | 988           | 1 106         | 1 220         |
| UV-308       | 1 265         | 1 688         | 2 263         | 2 375         | 2 661         | 2 935         |
| UV-309       | 220           | 294           | 393           | 413           | 463           | 510           |
| UV-306       | 157           | 210           | 282           | 295           | 330           | 364           |
| UV-304       | 151           | 202           | 270           | 284           | 318           | 350           |
| UV-303       | 260           | 347           | 465           | 488           | 547           | 603           |
| UV-302       | 170           | 227           | 304           | 319           | 358           | 394           |
| CARMEN_1     | 454           | 606           | 812           | 852           | 955           | 1 053         |
| CARMEN_2     | 328           | 438           | 587           | 616           | 690           | 761           |
| CUSIS_3      | 506           | 675           | 905           | 950           | 1 064         | 1 174         |
| LAS PALMERAS | 341           | 455           | 610           | 640           | 717           | 791           |
| SN-201       | 640           | 854           | 1 145         | 1 202         | 1 346         | 1 485         |
| TEJERIAS     | 38            | 51            | 68            | 71            | 80            | 88            |
| LPIE         | 1 100         | 1 468         | 1 967         | 2 065         | 2 314         | 2 552         |
| UV-271       | 1 838         | 2 453         | 3 287         | 3 451         | 3 866         | 4 128         |
| <b>TOTAL</b> | <b>31 083</b> | <b>41 487</b> | <b>55 593</b> | <b>58 365</b> | <b>65 381</b> | <b>71 979</b> |

| Sector remain connected to PTAR Este |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| UV                                   | 2012   | 2016   | 2026   | 2029   | 2036   | 2041   |
| UV-3                                 | 5 399  | 6 560  | 7 981  | 8 245  | 8 895  | 9 498  |
| UV-4                                 | 2 772  | 3 368  | 4 098  | 4 233  | 4 567  | 4 876  |
| UV-5                                 | 4 762  | 5 786  | 7 039  | 7 272  | 7 845  | 8 377  |
| UV-6                                 | 1 597  | 1 940  | 2 361  | 2 439  | 2 631  | 2 809  |
| UV-15                                | 3 061  | 3 719  | 4 525  | 4 674  | 5 043  | 5 385  |
| UV-16                                | 4 258  | 5 174  | 6 294  | 6 502  | 7 015  | 7 490  |
| UV-17                                | 4 459  | 5 418  | 6 591  | 6 809  | 7 346  | 7 844  |
| UV-18                                | 6 508  | 7 908  | 9 620  | 9 938  | 10 722 | 11 448 |
| UV-19                                | 3 962  | 4 814  | 5 857  | 6 050  | 6 527  | 6 970  |
| UV-20                                | 4 432  | 5 385  | 6 552  | 6 768  | 7 213  | 7 702  |
| UV-21                                | 4 378  | 5 319  | 6 472  | 6 678  | 7 202  | 7 796  |
| UV-22                                | 808    | 982    | 1 194  | 1 234  | 1 331  | 1 421  |
| UV-23                                | 2 336  | 2 838  | 3 453  | 3 567  | 3 849  | 4 109  |
| UV-24                                | 2 376  | 2 887  | 3 512  | 3 628  | 3 914  | 4 180  |
| UV-25                                | 4 000  | 4 860  | 5 913  | 6 108  | 6 590  | 7 037  |
| UV-26                                | 3 347  | 4 067  | 4 948  | 5 111  | 5 514  | 5 888  |
| UV-27                                | 12 140 | 14 751 | 17 946 | 18 539 | 20 001 | 21 356 |
| UV-28                                | 2 251  | 2 735  | 3 327  | 3 437  | 3 709  | 3 960  |
| UV-29                                | 3      |        |        |        |        |        |

### Détails de calculs de la population Santa Cruz en fonction Connexions SAGUAPAC - Secteur STEU ESTE

**7425** connexions/an  
**12 296** ha (surface totale)

| PTAR ESTE                     | % surface | Connexions / secteur | 10 % Connexion / secteur |
|-------------------------------|-----------|----------------------|--------------------------|
| Sector Este                   | 0.25      | 1 836.07 /an         | 183.61 /an               |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 0.10      | 710.20 /an           | 71.02 /an                |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 0.07      | 492.93 /an           | 49.29 /an                |

| PTAR ESTE                     | 2016<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2017<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2018<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2019<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 49 695                      | 298 170        | 3 040.58     | <b>98.06</b>      | 49 879                      | 299 272        | 3 040.58     | <b>98.43</b>      | 50 062                      | 300 373        | 3 040.58     | <b>98.79</b>      | 50 246                      | 301 475        | 3 040.58     | <b>99.15</b>      |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 12 043                      | 72 258         | 1 176.11     | 61.44             | 12 753                      | 76 519         | 1 176.11     | 65.06             | 13 463                      | 80 780         | 1 176.11     | 68.68             | 14 174                      | 85 042         | 1 176.11     | 72.31             |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 3 697                       | 22 182         | 816.31       | 27.17             | 4 190                       | 25 140         | 816.31       | 30.80             | 4 683                       | 28 097         | 816.31       | 34.42             | 5 176                       | 31 055         | 816.31       | 38.04             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>65 435</b>               | <b>392 610</b> | <b>5 033</b> | <b>62.23</b>      | <b>66 822</b>               | <b>400 930</b> | <b>5 033</b> | <b>64.76</b>      | <b>68 208</b>               | <b>409 251</b> | <b>5 033</b> | <b>67.30</b>      | <b>69 595</b>               | <b>417 571</b> | <b>5 033</b> | <b>69.83</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2020<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2021<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2022<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2023<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 50 429                      | 302 577        | 3 040.58     | <b>99.51</b>      | 50 613                      | 303 678        | 3 040.58     | <b>99.88</b>      | 50 797                      | 304 780        | 3 040.58     | <b>100.24</b>     | 50 980                      | 305 881        | 3 040.58     | <b>100.60</b>     |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 14 884                      | 89 303         | 1 176.11     | <b>75.93</b>      | 14 955                      | 89 729         | 1 176.11     | <b>76.29</b>      | 15 026                      | 90 155         | 1 176.11     | <b>76.66</b>      | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 5 669                       | 34 012         | 816.31       | 41.67             | 7 505                       | 45 029         | 816.31       | 55.16             | 7 998                       | 47 986         | 816.31       | 58.78             | 8 491                       | 50 944         | 816.31       | 62.41             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>70 982</b>               | <b>425 892</b> | <b>5 033</b> | <b>72.37</b>      | <b>73 073</b>               | <b>438 436</b> | <b>5 033</b> | <b>77.11</b>      | <b>73 820</b>               | <b>442 921</b> | <b>5 033</b> | <b>78.56</b>      | <b>59 471</b>               | <b>356 825</b> | <b>3 857</b> | <b>81.50</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2024<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2025<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2026<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2027<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 51 164                      | 306 983        | 3 040.58     | <b>100.96</b>     | 51 347                      | 308 085        | 3 040.58     | <b>101.32</b>     | 51 531                      | 309 186        | 3 040.58     | <b>101.69</b>     | 51 715                      | 310 288        | 3 040.58     | <b>102.05</b>     |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 8 984                       | 53 902         | 816.31       | 66.03             | 9 477                       | 56 859         | 816.31       | 69.65             | 9 969                       | 59 817         | 816.31       | 73.28             | 10 462                      | 62 774         | 816.31       | <b>76.90</b>      |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>60 147</b>               | <b>360 885</b> | <b>3 857</b> | <b>83.50</b>      | <b>60 824</b>               | <b>364 944</b> | <b>3 857</b> | <b>85.49</b>      | <b>61 501</b>               | <b>369 003</b> | <b>3 857</b> | <b>87.48</b>      | <b>62 177</b>               | <b>373 062</b> | <b>3 857</b> | <b>89.47</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2028<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2029<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2030<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2031<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 51 898                      | 311 390        | 3 040.58     | <b>102.41</b>     | 52 082                      | 312 491        | 3 040.58     | <b>102.77</b>     | 52 265                      | 313 593        | 3 040.58     | <b>103.14</b>     | 52 449                      | 314 695        | 3 040.58     | <b>103.50</b>     |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 10 512                      | 63 070         | 816.31       | <b>77.26</b>      | 10 561                      | 63 366         | 816.31       | <b>77.62</b>      | 10 610                      | 63 662         | 816.31       | <b>77.99</b>      | 10 660                      | 63 957         | 816.31       | <b>78.35</b>      |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>62 410</b>               | <b>374 460</b> | <b>3 857</b> | <b>89.84</b>      | <b>62 643</b>               | <b>375 857</b> | <b>3 857</b> | <b>90.20</b>      | <b>62 876</b>               | <b>377 255</b> | <b>3 857</b> | <b>90.56</b>      | <b>63 109</b>               | <b>378 652</b> | <b>3 857</b> | <b>90.92</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2032<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2033<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2034<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2035<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 52 633                      | 315 796        | 3 040.58     | 103.86            | 52 816                      | 316 898        | 3 040.58     | 104.22            | 53 000                      | 318 000        | 3 040.58     | 104.59            | 53 184                      | 319 101        | 3 040.58     | 104.95            |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 10 709                      | 64 253         | 816.31       | 78.71             | 10 758                      | 64 549         | 816.31       | 79.07             | 10 807                      | 64 845         | 816.31       | 79.44             | 10 857                      | 65 140         | 816.31       | 79.80             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>63 342</b>               | <b>380 049</b> | <b>3 857</b> | <b>91.29</b>      | <b>63 574</b>               | <b>381 447</b> | <b>3 857</b> | <b>91.65</b>      | <b>63 807</b>               | <b>382 844</b> | <b>3 857</b> | <b>92.01</b>      | <b>64 040</b>               | <b>384 242</b> | <b>3 857</b> | <b>92.37</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2036<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2037<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2038<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2039<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 53 367                      | 320 203        | 3 040.58     | 105.31            | 53 551                      | 321 304        | 3 040.58     | 105.67            | 53 734                      | 322 406        | 3 040.58     | 106.03            | 53 918                      | 323 508        | 3 040.58     | 106.40            |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 10 906                      | 65 436         | 816.31       | 80.16             | 10 955                      | 65 732         | 816.31       | 80.52             | 11 005                      | 66 028         | 816.31       | 80.89             | 11 054                      | 66 323         | 816.31       | 81.25             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>64 273</b>               | <b>385 639</b> | <b>3 857</b> | <b>92.74</b>      | <b>64 506</b>               | <b>387 036</b> | <b>3 857</b> | <b>93.10</b>      | <b>64 739</b>               | <b>388 434</b> | <b>3 857</b> | <b>93.46</b>      | <b>64 972</b>               | <b>389 831</b> | <b>3 857</b> | <b>93.82</b>      |

| PTAR ESTE                     | 2040<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2041<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| Sector Este                   | 54 102                      | 324 609        | 3 040.58     | 106.76            | 54 285                      | 325 711        | 3 040.58     | 107.12            |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | 11 103                      | 66 619         | 816.31       | 81.61             | 11 152                      | 66 915         | 816.31       | 81.97             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>65 205</b>               | <b>391 229</b> | <b>3 857</b> | <b>94.18</b>      | <b>65 438</b>               | <b>392 626</b> | <b>3 857</b> | <b>94.55</b>      |

### Détails de calculs de la population Santa Cruz en fonction Connexions SAGUAPAC - Secteur STEU MOTACUSAL

**7425** connexions/an  
**12 296** ha (surface totale)

| PTAR MOTACUSAL                | % surface | Connexions / secteur | 10 % Connexion / secteur |
|-------------------------------|-----------|----------------------|--------------------------|
| 5/ Sector A                   | 0.13      | 943.90 /an           | 94.39 /an                |
| 1/ Sector B Ouest             | 0.06      | 478.62 /an           | 47.86 /an                |
| 2/ Sector B Este              | 0.14      | 1 052.12 /an         | 105.21 /an               |
| 6/ Sector C                   | 0.26      | 1 911.17 /an         | 191.12 /an               |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 0.10      | 710.20 /an           | 71.02 /an                |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2016<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2017<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2018<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2019<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 5 665                       | 33 990         | 1 563.12     | 21.74             | 6 609                       | 39 653         | 1 563.12     | 25.37             | 7 553                       | 45 317         | 1 563.12     | 28.99             | 8 497                       | 50 980         | 1 563.12     | 32.61             |
| 1/ Sector B Ouest             | 4 462                       | 26 772         | 792.61       | 33.78             | 4 941                       | 29 644         | 792.61       | 37.40             | 5 419                       | 32 515         | 792.61       | 41.02             | 5 898                       | 35 387         | 792.61       | 44.65             |
| 2/ Sector B Este              | 11 366                      | 68 196         | 1 742.34     | 39.14             | 12 418                      | 74 509         | 1 742.34     | 42.76             | 13 470                      | 80 821         | 1 742.34     | 46.39             | 14 522                      | 87 134         | 1 742.34     | 50.01             |
| 6/ Sector C                   | 7 998                       | 47 988         | 3 164.95     | 15.16             | 9 909                       | 59 455         | 3 164.95     | 18.79             | 11 820                      | 70 922         | 3 164.95     | 22.41             | 13 732                      | 82 389         | 3 164.95     | 26.03             |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>29 491</b>               | <b>176 946</b> | <b>7 263</b> | <b>27.46</b>      | <b>33 877</b>               | <b>203 261</b> | <b>7 263</b> | <b>31.08</b>      | <b>38 263</b>               | <b>229 576</b> | <b>7 263</b> | <b>35</b>         | <b>42 648</b>               | <b>255 890</b> | <b>7 263</b> | <b>38.33</b>      |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2020<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2021<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2022<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2023<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 9 441                       | 56 644         | 1 563.12     | 36.24             | 10 493                      | 62 956         | 1 563.12     | 40.28             | 11 437                      | 68 620         | 1 563.12     | 43.90             | 12 380                      | 74 283         | 1 563.12     | 47.52             |
| 1/ Sector B Ouest             | 6 376                       | 38 259         | 792.61       | 48.27             | 6 855                       | 41 131         | 792.61       | 51.89             | 7 334                       | 44 002         | 792.61       | 55.52             | 7 812                       | 46 874         | 792.61       | 59.14             |
| 2/ Sector B Este              | 15 574                      | 93 447         | 1 742.34     | 53.63             | 16 627                      | 99 760         | 1 742.34     | 57.26             | 17 679                      | 106 072        | 1 742.34     | 60.88             | 18 731                      | 112 385        | 1 742.34     | 64.50             |
| 6/ Sector C                   | 15 643                      | 93 856         | 3 164.95     | 29.65             | 17 554                      | 105 323        | 3 164.95     | 33.28             | 19 465                      | 116 790        | 3 164.95     | 36.90             | 21 376                      | 128 257        | 3 164.95     | 40.52             |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | 15 097                      | 90 581         | 1 176.11     | <b>77.02</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>47 034</b>               | <b>282 205</b> | <b>7 263</b> | <b>41.95</b>      | <b>51 528</b>               | <b>309 169</b> | <b>7 263</b> | <b>45.68</b>      | <b>55 914</b>               | <b>335 484</b> | <b>7 263</b> | <b>49.30</b>      | <b>75 397</b>               | <b>452 380</b> | <b>8 439</b> | <b>57.74</b>      |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2024<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2025<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2026<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | 2027<br>Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions                  | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 13 324                      | 79 946         | 1 563.12     | 51.15             | 14 268                      | 85 610         | 1 563.12     | 54.77             | 15 212                      | 91 273         | 1 563.12     | 58.39             | 16 156                      | 96 936         | 1 563.12     | 62.01             |
| 1/ Sector B Ouest             | 8 291                       | 49 746         | 792.61       | 62.76             | 8 770                       | 52 618         | 792.61       | 66.39             | 9 248                       | 55 489         | 792.61       | 70.01             | 9 727                       | 58 361         | 792.61       | 73.63             |
| 2/ Sector B Este              | 19 783                      | 118 698        | 1 742.34     | 68.13             | 20 835                      | 125 010        | 1 742.34     | 71.75             | 21 887                      | 131 323        | 1 742.34     | <b>75.37</b>      | 21 992                      | 131 954        | 1 742.34     | <b>75.73</b>      |
| 6/ Sector C                   | 23 287                      | 139 724        | 3 164.95     | 44.15             | 25 199                      | 151 191        | 3 164.95     | 47.77             | 27 110                      | 162 658        | 3 164.95     | 51.39             | 29 021                      | 174 125        | 3 164.95     | 55.02             |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 15 168                      | 91 007         | 1 176.11     | <b>77.38</b>      | 15 239                      | 91 433         | 1 176.11     | <b>77.74</b>      | 15 310                      | 91 859         | 1 176.11     | <b>78.10</b>      | 15 381                      | 92 286         | 1 176.11     | <b>78.47</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 | -                           | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>79 854</b>               | <b>479 121</b> | <b>8 439</b> | <b>60.71</b>      | <b>84 310</b>               | <b>505 862</b> | <b>8 439</b> | <b>63.68</b>      | <b>88 767</b>               | <b>532 603</b> | <b>8 439</b> | <b>66.65</b>      | <b>92 277</b>               | <b>553 663</b> | <b>8 439</b> | <b>68.97</b>      |



| PTAR MOTOCUSAL                | 2028                |                |              |                   | 2029                |                |              |                   | 2030                |                |              |                   | 2031                |                |              |                   |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|                               | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 17 100              | 102 600        | 1 563.12     | 65.64             | 18 044              | 108 263        | 1 563.12     | 69.26             | 18 988              | 113 927        | 1 563.12     | 72.88             | 19 932              | 119 590        | 1 563.12     | <b>76.51</b>      |
| 1/ Sector B Ouest             | 10 205              | 61 233         | 792.61       | <b>77.25</b>      | 10 253              | 61 520         | 792.61       | <b>77.62</b>      | 10 301              | 61 807         | 792.61       | <b>77.98</b>      | 10 349              | 62 094         | 792.61       | <b>78.34</b>      |
| 2/ Sector B Este              | 22 098              | 132 586        | 1 742.34     | <b>76.10</b>      | 22 203              | 133 217        | 1 742.34     | <b>76.46</b>      | 22 308              | 133 848        | 1 742.34     | <b>76.82</b>      | 22 413              | 134 479        | 1 742.34     | <b>77.18</b>      |
| 6/ Sector C                   | 30 932              | 185 592        | 3 164.95     | 58.64             | 32 843              | 197 059        | 3 164.95     | 62.26             | 34 754              | 208 526        | 3 164.95     | 65.89             | 36 666              | 219 993        | 3 164.95     | 69.51             |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 15 452              | 92 712         | 1 176.11     | <b>78.83</b>      | 15 523              | 93 138         | 1 176.11     | <b>79.19</b>      | 15 594              | 93 564         | 1 176.11     | <b>79.55</b>      | 15 665              | 93 990         | 1 176.11     | <b>79.92</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>95 787</b>       | <b>574 722</b> | <b>8 439</b> | <b>71.29</b>      | <b>98 866</b>       | <b>593 197</b> | <b>8 439</b> | <b>72.96</b>      | <b>101 945</b>      | <b>611 672</b> | <b>8 439</b> | <b>74.62</b>      | <b>105 024</b>      | <b>630 147</b> | <b>8 439</b> | <b>76.29</b>      |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2032                |                |              |                   | 2033                |                |              |                   | 2034                |                |              |                   | 2035                |                |              |                   |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|                               | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 20 026              | 120 156        | 1 563.12     | <b>76.87</b>      | 20 120              | 120 723        | 1 563.12     | <b>77.23</b>      | 20 215              | 121 289        | 1 563.12     | <b>77.59</b>      | 20 309              | 121 855        | 1 563.12     | <b>77.96</b>      |
| 1/ Sector B Ouest             | 10 397              | 62 381         | 792.61       | <b>78.70</b>      | 10 445              | 62 669         | 792.61       | <b>79.07</b>      | 10 493              | 62 956         | 792.61       | <b>79.43</b>      | 10 540              | 63 243         | 792.61       | <b>79.79</b>      |
| 2/ Sector B Este              | 22 518              | 135 111        | 1 742.34     | <b>77.55</b>      | 22 624              | 135 742        | 1 742.34     | <b>77.91</b>      | 22 729              | 136 373        | 1 742.34     | <b>78.27</b>      | 22 834              | 137 005        | 1 742.34     | <b>78.63</b>      |
| 6/ Sector C                   | 38 577              | 231 460        | 3 164.95     | 73.13             | 40 488              | 242 927        | 3 164.95     | <b>76.76</b>      | 40 679              | 244 074        | 3 164.95     | <b>77.12</b>      | 40 870              | 245 220        | 3 164.95     | <b>77.48</b>      |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 15 736              | 94 416         | 1 176.11     | <b>80.28</b>      | 15 807              | 94 842         | 1 176.11     | <b>80.64</b>      | 15 878              | 95 268         | 1 176.11     | <b>81.00</b>      | 15 949              | 95 695         | 1 176.11     | <b>81.37</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>107 254</b>      | <b>643 525</b> | <b>8 439</b> | <b>77.31</b>      | <b>109 484</b>      | <b>656 903</b> | <b>8 439</b> | <b>78.32</b>      | <b>109 993</b>      | <b>659 960</b> | <b>8 439</b> | <b>78.68</b>      | <b>110 503</b>      | <b>663 018</b> | <b>8 439</b> | <b>79.05</b>      |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2036                |                |              |                   | 2037                |                |              |                   | 2038                |                |              |                   | 2039                |                |              |                   |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|                               | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 20 404              | 122 422        | 1 563.12     | <b>78.32</b>      | 20 498              | 122 988        | 1 563.12     | <b>78.68</b>      | 20 592              | 123 554        | 1 563.12     | <b>79.04</b>      | 20 687              | 124 121        | 1 563.12     | <b>79.41</b>      |
| 1/ Sector B Ouest             | 10 588              | 63 530         | 792.61       | <b>80.15</b>      | 10 636              | 63 817         | 792.61       | <b>80.52</b>      | 10 684              | 64 104         | 792.61       | <b>80.88</b>      | 10 732              | 64 392         | 792.61       | <b>81.24</b>      |
| 2/ Sector B Este              | 22 939              | 137 636        | 1 742.34     | <b>78.99</b>      | 23 045              | 138 267        | 1 742.34     | <b>79.36</b>      | 23 150              | 138 898        | 1 742.34     | <b>79.72</b>      | 23 255              | 139 530        | 1 742.34     | <b>80.08</b>      |
| 6/ Sector C                   | 41 061              | 246 367        | 3 164.95     | <b>77.84</b>      | 41 252              | 247 514        | 3 164.95     | <b>78.20</b>      | 41 443              | 248 661        | 3 164.95     | <b>78.57</b>      | 41 635              | 249 807        | 3 164.95     | <b>78.93</b>      |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 16 020              | 96 121         | 1 176.11     | <b>81.73</b>      | 16 091              | 96 547         | 1 176.11     | <b>82.09</b>      | 16 162              | 96 973         | 1 176.11     | <b>82.45</b>      | 16 233              | 97 399         | 1 176.11     | <b>82.81</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>111 013</b>      | <b>666 075</b> | <b>8 439</b> | <b>79.41</b>      | <b>111 522</b>      | <b>669 133</b> | <b>8 439</b> | <b>79.77</b>      | <b>112 032</b>      | <b>672 191</b> | <b>8 439</b> | <b>80.13</b>      | <b>112 541</b>      | <b>675 248</b> | <b>8 439</b> | <b>80.49</b>      |

| PTAR MOTOCUSAL                | 2040                |                |              |                   | 2041                |                |              |                   |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                               | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   | Connexions SAGUAPAC |                |              |                   |
|                               | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) | Connexions          | Population     | Surface (ha) | Densité (hab./ha) |
| 5/ Sector A                   | 20 781              | 124 687        | 1 563.12     | <b>79.77</b>      | 20 876              | 125 253        | 1 563.12     | <b>80.13</b>      |
| 1/ Sector B Ouest             | 10 780              | 64 679         | 792.61       | <b>81.60</b>      | 10 828              | 64 966         | 792.61       | <b>81.96</b>      |
| 2/ Sector B Este              | 23 360              | 140 161        | 1 742.34     | <b>80.44</b>      | 23 465              | 140 792        | 1 742.34     | <b>80.81</b>      |
| 6/ Sector C                   | 41 826              | 250 954        | 3 164.95     | <b>79.29</b>      | 42 017              | 252 101        | 3 164.95     | <b>79.65</b>      |
| 4/ Sector B Ouest (PTAR Este) | 16 304              | 97 825         | 1 176.11     | <b>83.18</b>      | 16 375              | 98 251         | 1 176.11     | <b>83.54</b>      |
| 3/ Sector B Este (PTAR Este)  | -                   | -              | -            | -                 | -                   | -              | -            | -                 |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>113 051</b>      | <b>678 306</b> | <b>8 439</b> | <b>80.86</b>      | <b>113 561</b>      | <b>681 363</b> | <b>8 439</b> | <b>81.22</b>      |

# 3

## **ANNEXE 3: ANALYSE DES DONNEES D'EXPLOITATION DE LA STEU ESTE**

### Qualité des eaux usées domestiques en entrée de station de 2007 - 2017

| Entrée station |                                 |            |         |                         |         |            |         |            |         |            |         |                          |         |                                  |          |          |         |
|----------------|---------------------------------|------------|---------|-------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|--------------------------|---------|----------------------------------|----------|----------|---------|
|                | Débit<br>(m <sup>3</sup> /jour) | DCO (mg/l) |         | DBO <sub>5</sub> (mg/l) |         | MES (mg/l) |         | MVS (mg/l) |         | NTK (mg/l) |         | N-NH <sub>4</sub> (mg/l) |         | Coliformes fécaux<br>(CF/100 ml) |          | P (mg/l) |         |
|                |                                 | 0.85       | Moyenne | 0.85                    | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85                     | Moyenne | 0.85                             | Moyenne  | 0.85     | Moyenne |
| 2007           | 27 052                          | 880        | 739     | 383                     | 300     | 601        | 533     | 578        | 493     | 101        | 87      | 71                       | 57      | 2,30E+07                         | 1,84E+07 | 41       | 35      |
| 2008           | 31 025                          | 876        | 809     | 409                     | 365     | 604        | 566     | 576        | 526     | 92         | 85      | 61                       | 58      | 4,30E+07                         | 3,10E+07 | 46       | 43      |
| 2009           | 32 330                          | 894        | 814     | 379                     | 349     | 764        | 651     | 553        | 490     | 90         | 84      | 72                       | 62      | 8,13E+07                         | 4,20E+07 | 45       | 35      |
| 2010           | 32 277                          | 876        | 831     | 409                     | 366     | 717        | 677     | 584        | 518     | 94         | 88      | 69                       | 64      | 5,42E+07                         | 3,98E+07 | 47       | 40      |
| 2011           | 36 124                          | 1036       | 867     | 415                     | 378     | 759        | 702     | 627        | 581     | 95         | 84      | 65                       | 56      | 4,30E+07                         | 3,30E+07 | 40       | 36      |
| 2012           | 42 789                          | 920        | 824     | 384                     | 337     | 698        | 628     | 548        | 496     | 101        | 86      | 63                       | 57      | 4,30E+07                         | 3,30E+07 | 39       | 36      |
| 2013           | 47 693                          | 796        | 750     | 342                     | 327     | 635        | 590     | 581        | 522     | 104        | 96      | 73                       | 64      | 4,30E+07                         | 3,85E+07 |          |         |
| 2014           | 51 604                          | 787        | 696     | 371                     | 346     | 618        | 565     |            |         | 154        | 129     | 92                       | 79      | 4,30E+07                         | 4,55E+07 |          |         |
| 2015           | 55 935                          | 877        | 807     | 364                     | 337     | 594        | 506     |            |         | 166        | 111     | 72                       | 63      | 9,30E+07                         | 5,79E+07 | 17       | 13      |
| 2016           | 55 579                          | 827        | 775     | 367                     | 350     | 597        | 538     |            |         | 180        | 198     | 82                       | 68      | 9,30E+07                         | 6,08E+07 | 21       | 17      |
| 2017           | 57 868                          | 896        | 792     | 418                     | 366     | 623        | 577     |            |         | 106        | 93      | 106                      | 55      | 9,30E+07                         | 8,86E+07 | 18       | 14      |
|                |                                 | 879        | 791     | 393                     | 347     | 681        | 594     | 595        | 518     | 112        | 103     | 71                       | 62      | 8,13E+07                         | 4,44E+07 | 43       | 30      |

### Qualité des eaux usées domestiques en sortie de station de 2007 - 2017

| Sortie station |                                 |            |         |                         |         |            |         |            |         |            |         |                          |         |                                  |          |          |         |
|----------------|---------------------------------|------------|---------|-------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|--------------------------|---------|----------------------------------|----------|----------|---------|
|                | Débit<br>(m <sup>3</sup> /jour) | DCO (mg/l) |         | DBO <sub>5</sub> (mg/l) |         | MES (mg/l) |         | MVS (mg/l) |         | NTK (mg/l) |         | N-NH <sub>4</sub> (mg/l) |         | Coliformes fécaux<br>(CF/100 ml) |          | P (mg/l) |         |
|                |                                 | 0.85       | Moyenne | 0.85                    | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85       | Moyenne | 0.85                     | Moyenne | 0.85                             | Moyenne  | 0.85     | Moyenne |
| 2007           | 27 052                          | 160        | 138     | 40                      | 34      | 536        | 437     | 254        | 217     | 57         | 52      | 48                       | 42      | 2,82E+03                         | 2,06E+03 | 44       | 33      |
| 2008           | 31 025                          | 169        | 148     | 38                      | 31      | 501        | 450     | 231        | 209     | 51         | 48      | 48                       | 40      | 6,80E+03                         | 5,27E+03 | 40       | 36      |
| 2009           | 32 330                          | 196        | 171     | 51                      | 44      | 536        | 485     | 244        | 213     | 58         | 51      | 45                       | 42      | 7,74E+03                         | 5,68E+03 | 39       | 30      |
| 2010           | 32 277                          | 223        | 203     | 54                      | 51      | 563        | 525     | 302        | 261     | 78         | 70      | 62                       | 60      | 1,24E+04                         | 8,18E+03 | 40       | 36      |
| 2011           | 36 124                          | 226        | 209     | 70                      | 64      | 592        | 538     | 304        | 267     | 77         | 68      | 57                       | 49      | 1,00E+04                         | 8,10E+03 | 35       | 31      |
| 2012           | 42 789                          | 236        | 223     | 74                      | 69      | 490        | 455     | 285        | 258     | 72         | 64      |                          |         | 9,30E+03                         | 8,95E+03 | 34       | 30      |
| 2013           | 47 693                          | 242        | 222     | 75                      | 70      | 498        | 454     | 298        | 267     | 89         | 79      |                          |         | 9,60E+03                         | 8,97E+03 |          |         |
| 2014           | 51 604                          | 241        | 221     | 75                      | 67      | 494        | 437     |            |         | 99         | 82      |                          |         | 9,30E+03                         | 6,89E+03 |          |         |
| 2015           | 55 935                          | 242        | 220     | 75                      | 68      | 447        | 424     |            |         | 84         | 73      | 61                       | 50      | 4,04E+04                         | 1,98E+04 |          |         |
| 2016           | 55 579                          | 241        | 234     | 75                      | 67      | 476        | 435     |            |         | 95         | 84      | 61                       | 56      | 4,90E+04                         | 4,58E+04 |          |         |
| 2017           | 57 868                          | 246        | 239     | 73                      | 69      | 494        | 422     |            |         | 87         | 76      | 63                       | 56      | 4,90E+04                         | 4,67E+04 |          |         |
|                |                                 | 240        | 203     | 73                      | 58      | 533        | 460     | 294        | 242     | 83         | 67      | 60                       | 49      | 4,37E+04                         | 1,51E+04 | 38       | 33      |

# 4

## **ANNEXE 4: DETAILS DES CALCULS DE PROCESS POUR LA STEU MOTA- CUSAL**



## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Notes de calcul - Alternative 4 : RAFA + Lits bactériens

Note de calcul A4.1 - Données de base pour le dimensionnement

Note de calcul A4.2 - Bac "pièges à pierres"

Note de calcul A4.3 - Dégrillage grossier

Note de calcul A4.4 - Dégrillage fin

Note de calcul A4.5 - Dessableur / Dégraisseur

Note de calcul A4.6 - Réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA)

Note de calcul A4.6 (2) - Phase 2 - Bassin de dénitrification

Note de calcul A4.6 (3) - Phase 2 - Décanteur intermédiaire

(Note: Les structures des RAFA en phase 1 seront converties en décanteurs intermédiaires pour la phase 2)

Note de calcul A4.7 - Station de pompage intermédiaire

Note de calcul A4.8 - Lits bactériens

Note de calcul A4.8 (2) - Station de pompage pour la recirculation - Phase 2

Note de calcul A4.9 - Décanteur secondaire

Note de calcul A4.10 A & B - Chloration (A) Y Dé-chloration (B)

Note de calcul A4.11 - Station de pompage des boues primaires

Note de calcul A4.12 - Station de pompage des boues secondaires et surnageant

Note de calcul A4.13 - Épaississement des boues primaires et secondaires

Note de calcul A4.14 - Station de pompage des boues à digérer

Note de calcul A4.15 - Digestion des boues

Note de calcul A4.16 - Ouvrage de stockage / épaissement des boues digérées

Note de calcul A4.17 - Déshydratation des boues

Note de calcul A4.17 (2) - Lits de séchage des boues

Note de calcul A4.18 - Station de pompage des surnageants issus de l'épaississement et de la déshydratation

Note de calcul A4.19 - Production des résidus et boues

Note de calcul A4.20 - Station de pompage initiale

Note de calcul A4.21 - Consommation de réactifs

Note de calcul aditionnelle - Séchage solaire

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.1 - Données de base pour le dimensionnement

| Paramètres  | Unités            | Période de dimensionnement |             |
|---|-------------------|----------------------------|-------------|
|   |                   | 2029                       | 2041        |
| Population desservie                                    | eq. Hab           | 385.000                    | 586.000     |
| Population équivalente                                  | eq. Hab           | 385.000                    | 586.000     |
| Débit moyen journalier total des eaux usées domestiques | m3/jour           | 46.200                     | 70.320      |
|   | l/s               | 535                        | 814         |
| Débit moyen journalier des infiltrations                | m3/jour           | 0                          | 0           |
|   | l/s               | 0                          | 0           |
| Débit moyen journalier des eaux usées totales           | m3/jour           | 46.200                     | 70.320      |
|   | l/s               | 535                        | 814         |
| Débit horaire maximum de temps sec                      | l/s/h             | 770                        | 1.172       |
| Débit maximum total                                     | m <sup>3</sup> /h | 2.772                      | 4.219       |
| <b>Charges contraminantes</b>                           |                   |                            |             |
| DBO <sub>5</sub>  | mg/l              | 289                        | 289         |
|   | kg/jour           | 13.352                     | 20.322      |
| DCO   | mg/l              | 677                        | 677         |
|   | kg/jour           | 31.277                     | 47.607      |
| MES   | mg/l              | 373                        | 373         |
|   | kg/jour           | 17.233                     | 26.229      |
| MVS   | mg/l              | 283                        | 283         |
|   | kg/jour           | 13.097                     | 19.934      |
| NTK   | mg/l              | 67                         | 67          |
|   | kg/jour           | 3.095                      | 4.711       |
| NH <sub>4</sub>   | mg/l              | 48                         | 48          |
|   | kg/jour           | 2.211                      | 3.365       |
| P   | mg/l              | 12                         | 12          |
|   | kg/jour           | 554                        | 844         |
| Sables & Graisses                                       | mg/l              | 70                         | 70          |
|   | kg/jour           | 3.234                      | 4.922       |
| Coliformes thermotolérants                              | NMP/100 ml        | 8,E+07                     | 8,E+07      |
| Nématodes intestinales                                  | oeufs/l           | 1,E+03                     | 1,E+03      |
| <b>Données climatiques</b>                              |                   |                            |             |
| <b>Paramètres</b>                                       | <b>Unités</b>     | <b>Valeurs</b>             |             |
| Température ambiante moyenne pdt le mois le plus froid  | °C                | 22,8                       |             |
| Température de dimensionnement                          | °C                | 25,0                       |             |
| <b>Objectifs de traitement</b>                          |                   |                            |             |
| <b>Paramètres</b>                                       | <b>Unités</b>     | <b>2029</b>                | <b>2041</b> |
| DBO <sub>5</sub>  | mg/l              | < 30                       | < 30        |
| MES   | mg/l              | < 100                      | < 100       |
| NTK   | mg/l              | N/A                        | < 12        |
| Coliformes thermotolérants                              | NMP/100 ml        | 5.000,0                    | 5.000,0     |
| Nématodes intestinales                                  | oeufs/l           | <1                         | <1          |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.2 - Bac "pièges à pierres"

| Données de base pour le dimensionnement                    | Unités                              | 2029        | 2041   |
|--|-------------------------------------|-------------|--------|
| <b>Débit de dimensionnement</b>                            |                                     |             |        |
| Débit moyen  | ℓ/s                                 | 535         | 814    |
| Débit horaire maximum de temps sec                         | ℓ/s                                 | 770         | 1.172  |
| Critères de dimensionnement                                | Unités                              | Valeur      | Valeur |
| <b>Recommandations</b>                                     |                                     |             |        |
| Temps de Rétention Hydraulique (TRH) à Qmax pour le calcul | minutes                             | 1 - 4       |        |
| Charge superficielle à Qmax pretraitement                  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h   | 30 - 180    |        |
| Ratio Longueur / Largeur                                   | L/A                                 | 1 - 3       |        |
| Nb de puits  | unité                               | 1           |        |
| Production de résidus                                      | m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup> | 0.05 - 0.15 |        |
| Densité apparente des résidus                              | kg/m <sup>3</sup>                   | 900         |        |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b>                     |                                     |             |        |
| TRH à Qmax   | minutes                             | 1,5         |        |
| Charge superficielle à Qmax                                | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h   | 130         |        |
| Ratio Longueur / Largeur                                   | L/A                                 | 1,80        |        |
| Nb de puits  | unité                               | 1           |        |
| Production de résidus                                      | m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup> | 0,05        |        |
| Dimensionnement adopté                                     | Unités                              | Valeur      | Valeur |
| <b>Capacité requise</b>                                    |                                     |             |        |
| Surface nécessaire   | m <sup>2</sup>                      | 32,46       |        |
| Volume nécessaire  | m <sup>3</sup>                      | 105,48      |        |
| <b>Dimensions adoptées</b>                                 |                                     |             |        |
| Plus grande longueur                                       | m                                   | 9,00        |        |
| Plus grande largeur  | m                                   | 5,00        |        |
| Longueur du fond   | m                                   | 8,00        |        |
| Largeur du fond  | m                                   | 4,00        |        |
| Hauteur droite ligne d'eau                                 | m                                   | 2,50        |        |
| Hauteur pyramidale tronquée                                | m                                   | 0,50        |        |
| Superficie unitaire  | m <sup>2</sup>                      | 45          |        |
| Superficie total   | m <sup>2</sup>                      | 45          |        |
| Volume utile unitaire                                      | m <sup>3</sup>                      | 131,7       |        |
| Volume utile total   | m <sup>3</sup>                      | 131,7       |        |
| Conditions d'exploitation                                  | Unités                              | 2029        | 2041   |
| Temps de rétention à Qmax                                  | min                                 | 2,8         | 1,9    |
| Temps de rétention à Qmoyen                                | min                                 | 4,1         | 2,7    |
| Charge superficielle à Qmax                                | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h   | 61,6        | 93,8   |
| Charge superficielle à Qmoyen                              | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h   | 42,8        | 65,1   |
| Production de résidus                                      | m <sup>3</sup> /j                   | 2,3         | 3,5    |
| Production de résidus                                      | tonne/j                             | 2,1         | 3,2    |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.3 - Dégrillage grossier

| Données de base pour le dimensionnement |                   | Unités               | 2029                          | 2041   |
|---|-------------------|----------------------|-------------------------------|--------|
| <b>Débit de dimensionnement</b>         |                   |                      |                               |        |
| Débit moyen                             |                   | ℓ/s                  | 535                           | 814    |
| Débit horaire maximum de temps sec      |                   | ℓ/s                  | 770                           | 1.172  |
| Critères de dimensionnement             |                   | Unités               | Valeur                        | Valeur |
| <b>Recommandations</b>                  |                   |                      |                               |        |
| Type de grille                          |                   |                      | Reja Automática Autolimpiante |        |
| Nombre de lignes                        | unité             |                      | 3,00                          |        |
| Espace libre entre les barreaux         | mm                |                      | 25 - 50                       |        |
| Vitesse à débit moyen                   | m/s               |                      | <1                            |        |
| Vitesse à débit maximum                 | m/s               |                      | 0.4 - 0.6                     |        |
| Colmatage maximum admissible            | %                 |                      | 30,00                         |        |
| Production de résidus                   | ℓ/m <sup>3</sup>  |                      | 0,05                          |        |
| Densité des résidus                     | kg/m <sup>3</sup> |                      | 600 a 900                     |        |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b>  |                   |                      |                               |        |
| Type de grille                          |                   |                      | Reja Automática Autolimpiante |        |
| Nombre de lignes                        | unité             |                      | 3                             |        |
| Espace libre entre les barreaux         | mm                |                      | 30                            |        |
| Vitesse à débit moyen                   | m/s               |                      | < 1                           |        |
| Vitesse à débit maximum                 | m/s               |                      | > 0.5                         |        |
| Vitesse d'approche à débit moyen        | m/s               |                      | > 0.3                         |        |
| Colmatage maximum admissible            | %                 |                      | 30                            |        |
| Production de résidus                   | ℓ/m <sup>3</sup>  |                      | 0,05                          |        |
| Densité des résidus                     | kg/m <sup>3</sup> |                      | 800                           |        |
| Dimensionnement                         |                   | Unités               | Valeur                        | Valeur |
| <b>Dimensions adoptées</b>              |                   |                      |                               |        |
| Espace libre entre les barreaux         |                   | mm                   | 30,00                         |        |
| Epaisseur des barreaux                  |                   | mm                   | 12,00                         |        |
| Largeur des barreaux                    |                   | mm                   | 70,00                         |        |
| Coefficient de grille                   |                   | %                    | 71,43                         |        |
| Largeur du canal                        |                   | m                    | 1,00                          |        |
| Hauteur du canal                        |                   | m                    | 1,80                          |        |
| Conditions d'exploitation               |                   | Unités               | 2029                          | 2041   |
| Nb de canaux en exploitation            |                   | unité                | 2,00                          | 3,00   |
| Débit maximum par canal                 |                   | ℓ/s                  | 385,00                        | 390,67 |
| Débit moyen par canal                   |                   | ℓ/s                  | 267,36                        | 271,30 |
| Tirant d'eau à débit maximum            |                   | m                    | 1,30                          | 1,32   |
| Tirant d'eau à débit moyen              |                   | m                    | 0,90                          | 0,92   |
| Section humide à débit max              |                   | m <sup>2</sup>       | 1,30                          | 1,32   |
| Section humide à débit moyen            |                   | m <sup>2</sup>       | 0,90                          | 0,92   |
| Vitesse à débit maximum                 |                   | m/s                  | 0,41                          | 0,41   |
| Vitesse à débit moyen                   |                   | m/s                  | 0,41                          | 0,41   |
| Área útil de reja colmatada a Q máx.    |                   | m <sup>2</sup>       | 0,65                          | 0,66   |
| Vitesse d'approche à débit max          |                   | m/s                  | 0,30                          | 0,30   |
| Vitesse d'approche à débit moyen        |                   | m/s                  | 0,30                          | 0,30   |
| Volume estimé des résidus retenus       |                   | m <sup>3</sup> /jour | 1,16                          | 1,17   |
| Poids estimés des déchets retenus (a)   |                   | kg/jour              | 924                           | 938    |
| Autonomie de stockage des résidus       |                   | jours                | 8,66                          | 8,53   |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.4 - Dégrillage fin

| Données de base pour le dimensionnement | Unités               | 2029      | 2041      |
|---|----------------------|-----------|-----------|
| <b>Débit de dimensionnement</b>         |                      |           |           |
| Débit moyen                             | ℓ/s                  | 535       | 814       |
| Débit horaire maximum de temps sec      | ℓ/s                  | 770       | 1.172     |
| Critères de dimensionnement             | Unités               | Valeur    | Valeur    |
| <b>Recommandations</b>                  |                      |           |           |
| Type de grille                          | "Step-screen"        |           |           |
| Nombre de lignes                        | unité                | 3         | 3         |
| Espace entre les grilles                | mm                   | 1 - 6     | 1 - 6     |
| Tirant d'eau maximum en amont           | mm                   | 710       | 0         |
| Tirant d'eau maximum en aval            | mm                   | 410       | -300      |
| Production de résidus                   | ℓ/m <sup>3</sup>     | 0,10      | 0,10      |
| Densité des résidus                     | kg/m <sup>3</sup>    | 600 a 900 | 600 a 900 |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b>  |                      |           |           |
| Type de grille                          | "Step-screen"        |           |           |
| Nombre de lignes                        | uds                  | 3         | 3         |
| Espace entre les grilles                | mm                   | 3,00      | 3,00      |
| Tirant d'eau maximum en amont           | mm                   | 710       | 0         |
| Tirant d'eau maximum en aval            | mm                   | 410       | -300      |
| Vitesse d'approche à débit moyen        | m/s                  | > 0.3     | > 0.3     |
| Production de résidus                   | ℓ/m <sup>3</sup>     | 0,10      | 0,10      |
| Densité des résidus                     | kg/m <sup>3</sup>    | 850       | 850       |
| Dimensionnement                         | Unités               | Valeur    | Valeur    |
| <b>Dimensions adoptées</b>              |                      |           |           |
| Espace libre entre les barreaux         | mm                   | 3,00      | 3,00      |
| Largeur du canal                        | m                    | 1,80      | 1,80      |
| Hauteur du canal                        | m                    | 1,20      | 1,20      |
| Conditions d'exploitation               | Unités               | 2029      | 2041      |
| Nombre de canaux en opération           | unité                | 2,00      | 3,00      |
| Débit maximum par canal                 | ℓ/s                  | 385,00    | 390,67    |
| Débit moyen par canal                   | ℓ/s                  | 267,36    | 271,30    |
| Tirant d'eau en amont à débit moyen     | m                    | 0,70      | 0,71      |
| Tirant d'eau en aval à débit max        | m                    | 0,41      | 0,42      |
| Tirant d'eau en amont à débit moyen     | m                    | 0,49      | 0,49      |
| Tirant d'eau en aval à débit max        | m                    | 0,19      | 0,19      |
| Section humide à débit moyen            | m <sup>2</sup>       | 1,26      | 1,28      |
| Section humide à débit max              | m <sup>2</sup>       | 0,88      | 0,89      |
| Vitesse d'approche à débit max          | m/s                  | 0,31      | 0,31      |
| Vitesse d'approche à débit moyen        | m/s                  | 0,31      | 0,31      |
| Volume estimé des résidus retenus       | m <sup>3</sup> /jour | 1,16      | 1,17      |
| Poids estimés des déchets retenus (a)   | kg/jour              | 982       | 996       |
| Autonomie de stockage des résidus       | jours                | 9         | 9         |

(a) Retirer les débris déjà retenus dans le dégrillage grossier

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.5 - Dessableur / Dégraisseur

| Données de base pour le dimensionnement | Unités            | 2029   | 2041   |
|---|-------------------|--------|--------|
| <b>Débit de dimensionnement</b>         |                   |        |        |
| Débit moyen                             | m <sup>3</sup> /j | 46.200 | 70.320 |
| Débit moyen                             | ℓ/s               | 535    | 814    |
| Débit horaire maximum de temps sec      | ℓ/s               | 770    | 1.172  |
| Concentration des huiles et graisses    | mg/l              | 70     | 70     |

| Critères de dimensionnement                 | Unités                            | Valeur | Valeur |
|---|-----------------------------------|--------|--------|
| <b>Recommandations</b>                      |                                   |        |        |
| Nombre de lignes                            | unité                             | ≥ 2    |        |
| Charge superficielle max dans le dessableur | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 35,00  |        |
| Temps de rétention à Qmax                   | minutes                           | > 5    |        |
| Temps de rétention à Qmoyen                 | minutes                           | < 20   |        |
| Vitesse de sediment. des particules d=0.2mm | cm/s                              | 2,3    |        |
| Vitesse de circulation                      | m/s                               | < 0.2  |        |
| Rapport longueur / largeur supérieure       | L:A                               | > 3    |        |
| Rapport largeur / hauteur                   | A:H                               | >1     |        |
| Tirant d'eau                                | m                                 | 2 - 5  |        |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b>      |                                   |        |        |
| Nombre de lignes                            | unité                             | 2,0    |        |
| Charge superficielle max dans le dessableur | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 35,00  |        |
| Temps de rétention à Qmax                   | minutes                           | 5      |        |
| Temps de rétention à Qmoyen                 | minutes                           | 20     |        |
| Vitesse de sediment. des particules d=0.2mm | cm/s                              | 2,3    |        |
| Vitesse de circulation maximum              | m/s                               | 0,20   |        |
| Rapport longueur / largeur supérieure       | L:A                               | >3     |        |
| Rapport largeur / hauteur                   | A:H                               | >1     |        |
| Tirant d'eau                                | m                                 | 2 - 5  |        |

| Dimensions hydrauliques et géométriques  | Unités         | Valeur | Valeur |
|--|----------------|--------|--------|
| Largeur du canal                         | m              | 5,20   |        |
| Longueur du canal                        | m              | 15,50  |        |
| Epaisseur du mur de séparation           | m              | 0,20   |        |
| Largeur de la zone de déssablage         | m              | 3,80   |        |
| Largeur de la zone de dégraisage         | m              | 1,20   |        |
| Hauteur droite                           | m              | 1,20   |        |
| Section horizontale                      | m <sup>2</sup> | 80,60  |        |
| Largeur du canal d'aspiration des sables | m              | 0,40   |        |
| Hauteur du canal d'aspiration des sables | m              | 0,40   |        |
| Hauteur de la zone pentue                | m              | 3,10   |        |
| Section rectangulaire                    | m <sup>2</sup> | 6,24   |        |
| Section de la zone en pente              | m <sup>2</sup> | 8,68   |        |
| Section droite totale                    | m <sup>2</sup> | 14,92  |        |
| Volume total                             | m <sup>3</sup> | 231,26 |        |
| Hauteur utile totale                     | m              | 4,30   |        |
| Garde-corps                              | m              | 1,05   |        |
| Hauteur totale                           | m              | 5,35   |        |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.5 - Dessableur / Dégraisseur

| Conditions d'exploitation hydrauliques | Unités                            | 2029 | 2041 |
|--|-----------------------------------|------|------|
| Charge superficielle à Qmax            | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 17,2 | 26,2 |
| Charge superficielle à Qmoyen          | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 11,9 | 18,2 |
| Temps de rétention à Qmax              | minutes                           | 10,0 | 6,6  |
| Temps de rétention à Qmoyen            | minutes                           | 14,4 | 9,5  |
| Vitesse de circulation à Qmax          | m/s                               | 0,03 | 0,04 |
| Vitesse de circulation à Qmoyen        | m/s                               | 0,02 | 0,03 |

| Critères de dimensionnement - Injection d'air | Unités                             | Valeur | Valeur |
|---|------------------------------------|--------|--------|
| Injection d'air par unité de volume           | Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h | 2      |        |
| Injection d'air par unité de longueur         | Nm <sup>3</sup> /m/h               | 8      |        |
| Injection d'air par unité de surface à Qmoyen | Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 4      |        |
| Injection d'air par unité de surface à Qmax   | Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 8      |        |

| Dimensionnement de l'injection d'air             | Unités             | Valeur | Valeur |
|--|--------------------|--------|--------|
| Injection par m <sup>3</sup> d'ouvrage           | Nm <sup>3</sup> /h | 463    |        |
| Injection par ml d'ouvrage                       | Nm <sup>3</sup> /h | 124    |        |
| Injection par m <sup>2</sup> d'ouvrage à Q max   | Nm <sup>3</sup> /h | 322,4  |        |
| Injection par m <sup>2</sup> d'ouvrage à Q moyen | Nm <sup>3</sup> /h | 644,8  |        |
| Débit de dimensionnement par réservoir           | Nm <sup>3</sup> /h | 640    |        |

| Conditions d'exploitation pour l'injection d'air | Unités                             | 2029 | 2041 |
|--|------------------------------------|------|------|
| Débit d'air par m <sup>2</sup> de réservoir      | Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h | 7,9  | 7,9  |
| Relation Q air/Qmax                              | Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>    | 0,23 | 0,15 |
| Relation Q air/Qmoyen                            | Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>    | 0,33 | 0,22 |

| Critères de dimensionnement - Extraction et pompage des sables | Unités            | Valeur | Valeur |
|--|-------------------|--------|--------|
| Estimation de la teneur en sable                               | mg/l              | 100    |        |
| Densité des sables   | kg/m <sup>3</sup> | 1.650  |        |
| Estimation de la teneur en sable                               | l/m <sup>3</sup>  | 0,06   |        |
| Récupération des sables dans le dessableur                     | %                 | 98     |        |
| Concentration pour le pompage                                  | %(v/v)            | 0,5    |        |

| Conditions d'exploitation pour l'extraction et le pompage des sables | Unités            | 2029  | 2041  |
|--|-------------------|-------|-------|
| Production de sables selon le débit                                  | l/m <sup>3</sup>  | 59    | 59    |
| Charge journalière à retirer   | kg/j              | 4.528 | 6.891 |
| Débit d'eau / sable à évacuer  | m <sup>3</sup> /j | 906   | 1.378 |
| Rapport volume sable + eau / Qmoyen                                  | ℓ/m <sup>3</sup>  | 19,6  | 19,6  |
| Nb de pompes d'extraction  | unité             | 2     | 2     |
| Débit unitaire des pompes d'extraction                               | m <sup>3</sup> /h | 18,9  | 28,7  |
| Débit unitaire des pompes d'extraction adopté                        | m <sup>3</sup> /h | 30,0  | 30,0  |
| Nb d'heures de fonctionnement  | h/j               | 15,1  | 23,0  |

| Critères de dimensionnement - Classification des sables | Unités | Valeur | Valeur |
|---|--------|--------|--------|
| Concentration   | %(v/v) | 98     |        |
| Nb d'unité  | unité  | 2      |        |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.5 - Dessableur / Dégraisseur

| Conditions d'exploitation pour la classification des sables |                   |      |      |
|---|-------------------|------|------|
|   | Unités            | 2029 | 2041 |
| Débit maximal simultané                                     | m <sup>3</sup> /h | 30   | 30   |
| Capacité commerciale  | m <sup>3</sup> /h | 30   | 30   |
| Débit des sables  | m <sup>3</sup> /h | 2,3  | 3,5  |

| Critères de dimensionnement - Extraction et séparation des graisses |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|
|   | Unités | Valeur | Valeur |
| Elimination max prévue  | %      | 80     |        |
| Concentration d'extraction prévue                                   | g/l    | 5      |        |

| Conditions d'exploitation pour l'extraction et la séparation des graisses |                   |       |       |
|---|-------------------|-------|-------|
|   | Unités            | 2029  | 2041  |
| Poids des graisses à évacuer  | kg/j              | 2.587 | 3.938 |
| Volume eau / graisse à évacuer  | m <sup>3</sup> /j | 517   | 788   |
| Heures de fonctionnement  | heure             | 7,9   | 12,0  |
| Débit horaire   | m <sup>3</sup> /h | 65,6  | 65,6  |
| Débit adopté  | m <sup>3</sup> /h | 70,0  | 70,0  |

| Critères de dimensionnement - Concentration des graisses |                   |        |        |
|--|-------------------|--------|--------|
|  | Unités            | Valeur | Valeur |
| Nombre de réservoir                                      | unité             | 2      |        |
| Débit max de traitement                                  | m <sup>3</sup> /h | 35     |        |
| Concentration de sortie estimée                          | %                 | 0,8    |        |
| Volume unitaire du conteneur                             | m <sup>3</sup>    | 5      |        |

| Conditions d'exploitation pour la concentration des graisses |                   |      |      |
|--|-------------------|------|------|
|  | Unités            | 2029 | 2041 |
| Nombre de réservoirs   | unité             | 2    | 2    |
| Débit adopté   | m <sup>3</sup> /h | 35,0 | 35,0 |
| Volume des graisses concentrées                              | m <sup>3</sup> /j | 3,2  | 4,9  |
| Nombre de conteneurs   | m <sup>3</sup>    | 2    | 2    |
| Autonomie  | jour              | 3,1  | 2,0  |



## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.6 - Réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA)

| Données de base pour le dimensionnement                                       | Unités   | 2029   |
|---|----------|--------|
| Débit journalier moyen par temps sec  | m3/jour  | 46.200 |
| Débit de surnageant   | m3/jour  | 375    |
| Débit des boues secondaires   | m3/jour  | 216    |
| Débit moyen total   | m3/jour  | 46.791 |
| Débit journalier moyen par temps sec  | m3/heure | 1.950  |
| Débit journalier moyen par temps sec  | l/s      | 542    |
| Débit maximum   | l/s      | 770    |
| Charge de NTK du surnageant   | kg/d     | 464    |
|   | mg/l     | 1.238  |
| DBO <sub>5</sub> affluent (avec charge de boues et surnageant = 5% aditionel) | mg/l     | 303    |
| DCO affluent (avec charge de boues et surnageant = 5% aditionel)              | mg/l     | 711    |
| MES affluent (avec charge de boues et surnageant = 10% aditionel)             | mg/l     | 76     |
| NTK affluent (avec charge de boues et surnageant = 15% aditionel)             | mg/l     | 410    |

| Critères de dimensionnement                        | Unités                            | Valeurs   |
|--|-----------------------------------|-----------|
| <b>Hydraulique</b>                                 |                                   |           |
| Temps de rétention dans le décanteur               |                                   |           |
| à débit moyen                                      | heures                            | 7 a 9     |
| à débit maximum                                    | heures                            | 4 a 6     |
| Charge volumétrique hydraulique                    |                                   |           |
| à débit moyen                                      | m3/m3.jour                        | < 4       |
| à débit maximum                                    | m3/m3.jour                        | < 6       |
| Vitesse ascensionnelle                             |                                   |           |
| à débit moyen                                      | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h | 0.5 a 0.7 |
| à débit maximum                                    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h | < 1.2     |
| Charge hydraulique superficielle dans le décanteur |                                   |           |
| à débit moyen                                      | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h | < 1.0     |
| à débit maximum                                    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h | < 1.6     |
| Temps de rétention dans le décanteur               |                                   |           |
| à débit moyen                                      | heures                            | 1.5 a 2.0 |
| à débit maximum                                    | heures                            | > 1.0     |
| <b>Charge organique</b>                            |                                   |           |
| Charge volumétrique organique                      | kgDCO/m3/jour                     | 2.5 a 3.5 |
| <b>Production de boues</b>                         |                                   |           |
| Ration de production de boues                      | kg/kg DCO afl.                    | 0,20      |
| Concentration des boues                            | kg/m <sup>3</sup>                 | 30        |
| <b>Production de biogaz</b>                        |                                   |           |
| Ratio de production                                | m <sup>3</sup> /kgDCO elim.       | 0,35      |
| Système de purge                                   | Automatique par pression          |           |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.6 - Réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA)

| Géométrie  | Unités                               | Valeurs |
|--|--------------------------------------|---------|
| <b>Réacteur total</b>                              |                                      |         |
| Largeur du réservoir                               | m                                    | 13,50   |
| Longueur du réservoir                              | m                                    | 54,00   |
| Hauteur du réservoir                               | m                                    | 5,50    |
| Volume effectif unitaire                           | m <sup>3</sup>                       | 4.010   |
| Superficie unitaire                                | m <sup>2</sup>                       | 729,0   |
| <b>Zone de décantation</b>                         |                                      |         |
| Nb de décanteurs par RAFA                          | unité                                | 3       |
| Largeur unitaire                                   | m                                    | 3,30    |
| Longueur unitaire                                  | m                                    | 54,00   |
| Surface par RAFA                                   | m <sup>2</sup>                       | 535     |
| Section droite unitaire                            | m <sup>2</sup>                       | 6,95    |
| Conditions d'exploitation                          | Unités                               | 2029    |
| Nombre de réservoir                                | unité                                | 4       |
| Temps de rétention hydraulique total               |                                      |         |
| à débit moyen                                      | heures                               | 8,23    |
| à débit maximum                                    | heures                               | 5,79    |
| Charge volumétrique hydraulique                    |                                      |         |
| à débit moyen                                      | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .jour | 2,92    |
| à débit maximum                                    | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .jour | 4,15    |
| Vitesse ascensionnelle                             |                                      |         |
| à débit moyen                                      | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h    | 0,67    |
| à débit maximum                                    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h    | 0,95    |
| Charge volumétrique organique                      | kgDCO/m <sup>3</sup> .jour           | 2,07    |
| Charge hydraulique superficielle dans le décanteur |                                      |         |
| à débit moyen                                      | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h    | 0,91    |
| à débit maximum                                    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h    | 1,30    |
| Temps de rétention hydraulique dans le décanteur   |                                      |         |
| à débit moyen                                      | heures                               | 2       |
| à débit maximum                                    | heures                               | 1,62    |
| Elimintation de la DBO <sub>5</sub> calculée       | %                                    | 75,6    |
| Elimintation de la DBO <sub>5</sub> adoptée        | %                                    | 75,0    |
| DBO <sub>5</sub> en sortie de RAFA                 | mg/l                                 | 76      |
| Elimintation de la DCO calculée                    | %                                    | 67,5    |
| Elimintation de la DCO adoptée                     | %                                    | 67,5    |
| DCO en sortie de RAFA                              | mg/l                                 | 231     |
| Elimintation des MES calculée                      | %                                    | 80,0    |
| Elimintation des MES adoptée                       | %                                    | 80,0    |
| MES en sortie de RAFA                              | mg/l                                 | 82      |
| NTK en sortie de RAFA                              | mg/l                                 | 64      |
| Elimination NTK                                    | %                                    | 16      |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.6 - Réacteur anaérobie à flux ascendant (RAFA)

| Production de boues                        | Unités                   | 2029   |
|--|--------------------------|--------|
| DCO en entrée                              | mg/l                     | 710,85 |
| Production de boues dans le réacteur       | kg MS /día               | 6.652  |
| Volume total des boues produites           | m3/jour                  | 222    |
| Volume des boues par réacteur              | m3/jour                  | 55,4   |
| Heure de purge par jour et par réacteur    | h/jour                   | 0,37   |
| Débit par heure de purge                   | m <sup>3</sup> /h        | 150    |
| Nb de purge par réacteur                   | unité                    | 4      |
| Débit unitaire par purge                   | m <sup>3</sup> /h        | 37,5   |
| Diamètre de purge                          | mm                       | 150    |
| Vitesse dans les tubes de purge            | m/s                      | 3,1    |
| Système de purge                           | Valve automatique PIC    |        |
| Collecteur de purge général                | uds                      | 1      |
| Diamètre du collecteur                     | mm                       | 250    |
| <b>Système d'échantillonnage des boues</b> |                          |        |
| Nb d'unités                                | unité/réacteur           | 2      |
| No. de válv. comp. /unid. (PVC DN50)       | unité/unité              | 3      |
| <b>Système d'inspection du RAFA</b>        |                          |        |
| Nb de regard DN 800mm                      | unité/réacteur           | 1      |
| Production de biogaz                       | Unités                   | 2029   |
| DCO en entrée                              | mg/l                     | 710,9  |
| DCO en sortie                              | mg/l                     | 231,2  |
| DCO éliminée                               | mg/l                     | 479,7  |
| Ratio de production                        | m3/kgDCO elim.           | 0,35   |
| Volume journalier de biogaz                | m3/jour                  | 7.855  |
| Volume journalier de biogaz par réacteur   | m3/jour                  | 1.964  |
| Système de purge                           | Automatique par pression |        |
| Nb de canaux de purge par réacteur         | unité                    | 4      |
| Largeur du canal de purge                  | m                        | 0,525  |
| Nb de purges par canal                     | unité                    | 6      |
| Total de purges par réacteur               | unité                    | 24     |
| Temps de purge estimé                      | heures                   | 24,0   |
| Débit de biogaz par purge                  | m3/h                     | 3,41   |
| Diamètre de purge                          | mm                       | 25     |
| Vitesse de purge                           | m/s                      | 1,93   |
| Débit de biogaz par réacteur               | m <sup>3</sup> /h        | 81,83  |
| Diamètre du collecteur biogaz/réacteur     | mm                       | 100    |
| Vitesse dans le collecteur                 | m/s                      | 2,89   |
| Débit biogaz dans le collecteur général    | m <sup>3</sup> /h        | 327,3  |
| Diamètre du collecteur général du biogaz   | mm                       | 400    |
| Vitesse dans le collecteur                 | m/s                      | 0,72   |
| <b>Torche</b>                              |                          |        |
| Débit nécessaire                           | m <sup>3</sup> /h        | 500    |
| Pression minimum                           | mbar                     | 30     |
| Pression maximum                           | mbar                     | 50     |
| <b>Système de pressurisation</b>           |                          |        |
| Nb d'unités                                | unité                    | 2(1+1) |
| Débit unitaire                             | m <sup>3</sup> /h        | 500    |
| Hauteur manométrique                       | mbar                     | 50     |
| Puissance installée estimée                | KW                       | 5      |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.6 (2) - Phase 2 - Bassin de dénitrification

| Données de base pour le dimensionnement   | Unités            | 2041    |
|---|-------------------|---------|
| Caudal promedio medio jourrio en tiempo seco  | m <sup>3</sup> /d | 70.320  |
| Facteur de recirculation pour la dénitrification  | -                 | 3       |
| Débit de recirculation  | m <sup>3</sup> /j | 175.800 |
| Débit surnageant  | m <sup>3</sup> /j | 2.260   |
| Débit de recirculation max avec surnageant  | m <sup>3</sup> /j | 248.380 |
| Débit moyen de temps sec  | m <sup>3</sup> /h | 10.349  |
| Débit moyen de temps sec  | l/s               | 2.875   |
| Débit horaire maximum de temps sec  | l/s               | 1.172   |
| DBO <sub>5</sub> de entrada sin recirculación y con masa organica en sobrenedante (+5%) | mg/l              | 303     |
|   | kg/j              | 21.339  |
| DBO <sub>5</sub> de entrada con recirculación y con masa organica en sobrenedante (+5%) | mg/l              | 86      |
|   | kg/j              | 21.339  |
| MES en entrée sans recirculation  | mg/l              | 373     |
|   | kg/j              | 26.229  |
| MES en entrées avec recirculation   | mg/l              | 106     |
|   | kg/j              | 26.229  |
| NTK de entrada sin recirculación y con masa de nitrogeno en sobrenedante (+15%)         | mg/l              | 77      |
|   | kg/j              | 5.418   |
| NTK de entrada con recirculación y con masa de nitrogeno en sobrenedante (+15%)         | mg/l              | 22      |

| Bilan azoté sans recirculation            | Unités |       |
|---|--------|-------|
| Azote total en entrée                     | mg/l   | 77    |
|   | kg/j   | 5.418 |
| Azote organique dans l'effluent           | mg/l   | 2     |
|   | kg/j   | 141   |
| Azote ammoniacal dans l'effluent          | mg/l   | 0     |
|   | kg/j   | 0     |
| Nitrates dans l'effluent                  | mg/l   | 7     |
|   | kg/j   | 506   |
| Incorporation de l'azote dans la biomasse | mg/l   | 12    |
|   | kg/j   | 854   |
| Nitrates pour la dénitrification          | mg/l   | 56    |
|   | kg/j   | 3.918 |
| Azote total dans l'effluent               | mg/l   | 9     |
|   | kg/j   | 647   |

| Bilan azoté avec recirculation            | Unités |       |
|---|--------|-------|
| Azote total en entrée                     | mg/l   | 22    |
|   | kg/j   | 5.418 |
| Azote organique dans l'effluent           | mg/l   | 2     |
|   | kg/j   | 141   |
| Azote ammoniacal dans l'effluent          | mg/l   | 0     |
|   | kg/j   | 0     |
| Nitrates dans l'effluent                  | mg/l   | 7     |
|   | kg/j   | 506   |
| Incorporation de l'azote dans la biomasse | mg/l   | 3     |
|   | kg/j   | 854   |
| Nitrates pour la dénitrification          | mg/l   | 16    |
|   | kg/j   | 3.918 |

| Bilan phosphoré sans recirculation                                    |                   | Unités  |      |
|---|-------------------|---------|------|
| Phosphore total en entrée   | mg/l              | 12      |      |
|   | kg/j              | 844     |      |
| Incorporation du phosphore dans la biomasse                           | mg/l              | 0,35    |      |
|   | kg/j              | 25      |      |
| Phosphore total dans l'effluent                                       | mg/l              | 12      |      |
|   | kg/j              | 819     |      |
| Bilan phosphoré avec recirculation                                    |                   | Unités  |      |
| Phosphore total en entrée   | mg/l              | 3       |      |
|   | kg/j              | 844     |      |
| Incorporation du phosphore dans la biomasse                           | mg/l              | 0,10    |      |
|   | kg/j              | 25      |      |
| Phosphore total dans l'effluent                                       | mg/l              | 3       |      |
|   | kg/j              | 819     |      |
| Critères de dimensionnement   |                   | Unités  |      |
| Consommation de DBO <sub>5</sub> pour l'oxydation des NO <sub>3</sub> | kg/kg             | 2,5     |      |
| La dénitrification  |                   | Unités  |      |
| S <sub>NO3,D</sub> / C <sub>DBO</sub>                                 | -                 | 0,2     |      |
| V <sub>Dénitrif</sub> / V <sub>total</sub>                            | -                 | 0,6     |      |
| Temps de rétention total des boues                                    | jour              | 5       |      |
| Temps de rétention des boues dans les bassins de dénitrification      | jour              | 3       |      |
| Production de boues avec biomasse en suspension avec aération         | kg/j              | 23.909  |      |
| Concentration des solides dans les bassins                            | kg/m <sup>3</sup> | 2       |      |
| Volume total  | m <sup>3</sup>    | 55.280  |      |
| Volume pour la dénitrification  | m <sup>3</sup>    | 33.168  |      |
| Ratio de recirculation des boues                                      | -                 | 1,00    |      |
| Effet dénitrification   | %                 | 50      |      |
| Géométrie   |                   | Unités  |      |
| Diamètre  | m                 | 58,00   |      |
| Diamètre zone d'alimentation  | m                 | 5,00    |      |
| Superficie unitaire   | m <sup>2</sup>    | 2.616,3 |      |
| Diamètre puits de boues   | m                 | 0,00    |      |
| Hauteur tronc conique   | m                 | 0,95    |      |
| Volume unitaire   | m <sup>3</sup>    | 8.889   |      |
| Volume requis   | m <sup>3</sup>    | 33.168  |      |
| Nombre de bassin  | unité             | 4       |      |
| Paramètres d'exploitation   |                   | Unités  |      |
| Elimination DBO <sub>5</sub>  | kg/j              | 9.794   | 2041 |
| Reste de DBO <sub>5</sub>   | mg/l              | 46      |      |
| Temps de rétention Q <sub>max</sub>                                   | heure             | 8,4     |      |
| Temps de rétention Q <sub>moyen</sub> avec recirculation              | heure             | 3,4     |      |
| Caractéristiques de l'effluent final                                  |                   | Unités  |      |
| DBO <sub>5</sub> total  | mg/l              | 46      | 2041 |
| MES   | mg/l              | 106     |      |
| N total   | mg/l              | 9       |      |
| NH <sub>4</sub>   | mg/l              | 0,0     |      |
| NO <sub>3</sub>   | mg/l              | 7       |      |
| Norg.   | mg/l              | 2       |      |
| P total   | mg/l              | 3       |      |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.6 (3) - Phase 2 - Décanteur intermédiaire

(Note: Les structures des RAFA en phase 1 seront converties en décanteurs intermédiaires pour la phase 2)

| Données de base pour le dimensionnement                          | Unités            | 2041    |
|--|-------------------|---------|
| Débit journalier moyen par temps sec avec recirculation maximale | m <sup>3</sup> /j | 248.380 |
| Débit moyen  | m <sup>3</sup> /h | 10.349  |
| Débit max en temps sec   | l/s               | 1.172   |
| Débit max  | l/s               | 2.875   |
| DBO <sub>5</sub> en entrée                                       | mg/l              | 46      |
| MES en entrée  | mg/l              | 106     |

| Critères de dimensionnement                           | Unités                            | Valeurs |
|---|-----------------------------------|---------|
| Charge superficielle à débit moyen                    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 16 - 32 |
| Charge superficielle à débit max                      | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 40 - 48 |
| Temps de rétention à Qmax                             | h                                 | > 1,5   |
| Débit au dessus du déversoir à Qmax                   | m <sup>3</sup> /m.h               | 15,0    |
| Estimation de l'élimination des solides en suspension | %                                 | 85      |
| Concentration des boues sédimentaires                 | %                                 | 1,0     |
| Densité des boues sédimentaires                       | kg/m <sup>3</sup>                 | 1.020   |

| Géométrie                     | Unités         | Valeurs |
|-------------------------------|----------------|---------|
| Largeur                       | m              | 13,50   |
| Longueur                      | m              | 54,00   |
| Superficie unitaire effective | m <sup>2</sup> | 729,0   |
| Hauteur                       | m              | 5,50    |
| Volume unitaire               | m <sup>3</sup> | 4.010   |

| Paramètres d'exploitation                           | Unités                            | 2041 |
|---|-----------------------------------|------|
| Nb d'ouvrages                                       | unité                             | 8    |
| Charge hydraulique à débit moyen avec recirculation | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 42,6 |
| Charge hydraulique à Qmax en temps sec              | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 17,4 |
| Charge hydraulique à Qmax                           | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 42,6 |
| Temps de rétention à Qmax                           | heure                             | 3,1  |
| Temps de rétention à Qmax en temps sec              | heure                             | 7,6  |
| Temps de rétention à Qmoyen                         | heure                             | 3,1  |

| Production de boues          | Unités            | 2041   |
|------------------------------|-------------------|--------|
| Production des boues         | kg/j              | 22.295 |
| Production des boues         | m <sup>3</sup> /j | 2.186  |
| Débit d'extraction des boues | l/s               | 120,0  |
| Temps d'extraction des boues | heure             | 5,1    |

| Caractéristiques de l'effluent final | Unités | 2041 |
|--------------------------------------|--------|------|
| DBO <sub>5</sub> particulaire        | mg/l   | 5    |
| DBO <sub>5</sub> soluble             | mg/l   | 23   |
| DBO <sub>5</sub> total               | mg/l   | 28   |
| MES                                  | mg/l   | 16   |
| N total                              | mg/l   | 9    |
| NH <sub>4</sub>                      | mg/l   | 0,0  |
| NO <sub>3</sub>                      | mg/l   | 7    |
| Norg.                                | mg/l   | 2    |
| P total                              | mg/l   | 3    |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.7 - Station de pompage intermédiaire

| Données de base pour le dimensionnement | Unités | Valeurs | Valeurs |
|---|--------|---------|---------|
| Débit max total                         | l/s    | 770     | 2.875   |

| Critères de dimensionnement          | Unités | Valeurs | Valeurs |
|--------------------------------------|--------|---------|---------|
| <b>Recommandations</b>               |        |         |         |
| Nb minimum de pompes                 | unité  | 4+2     | 4+3     |
| Temps de rétention max dans le puits | h      | 1       | 2       |
| Fréquence de démarrage               | (N/h)  | < 10    | < 10    |

| Dimensionnement                  | Unités | Valeurs | Valeurs |
|----------------------------------|--------|---------|---------|
| Nb de pompes en service          | unité  | 4       |         |
| Nb de pompes en réserve          | unité  | 2       |         |
| Débit unitaire pour le calcul    | l/s    | 719     |         |
| Débit unitaire de pompage adopté | l/s    | 750     |         |
| Longueur du puits                | m      | 25,00   |         |
| Largeur du puits                 | m      | 10,00   |         |
| Hauteur utile du puits           | m      | 2,10    |         |
| Volume total du puits            | m3     | 525,00  |         |

| Paramètres d'exploitation | Unités | 2029 | 2041 |
|---------------------------|--------|------|------|
| Nb de pompes en service   | un     | 2    | 4    |
| Temps moyen en opération  | h/d    | 8,6  | 16,3 |

### Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

#### Note de calcul A4.8 - Lits bactériens

| Données de base pour le dimensionnement                     | Unités            | 2029   | 2041    |
|---|-------------------|--------|---------|
| Débit moyen journalier par temps sec                        | m <sup>3</sup> /j | 46.791 | 70.320  |
| Facteur de recirculation                                    | -                 | 0      | 2,5     |
| Débit de recirculation                                      | m <sup>3</sup> /j | 0      | 175.800 |
| Débit moyen journalier par temps sec avec recirculation max | m <sup>3</sup> /j | 46.791 | 248.380 |
| Débit journalier moyen par temps sec                        | m <sup>3</sup> /h | 1.950  | 10.349  |
| Débit journalier moyen par temps sec                        | l/s               | 542    | 2.875   |
| Débit max   | l/s               | 770    | 1.172   |
| DBO <sub>5</sub> en entrée sans recirculation               | mg/l              | 76     | 99      |
|   | kg/j              | 3.550  | 6.953   |
| DBO <sub>5</sub> en entrée avec recirculation               | mg/l              | 76     | 28      |
| MES en entrée sans recirculation                            | mg/l              | 82     | 56      |
|   | kg/j              | 3.840  | 3.934   |
| MES en entrée avec recirculation                            | mg/l              | 82     | 16      |
| N total en entrée sans recirculation                        | mg/l              | 64     | 77      |
|   | kg/j              | 2.992  | 5.418   |
| N total en entrée avec recirculation                        | mg/l              | 64     | 22      |
| P total en entrée sans recirculation                        | mg/l              | 11     | 12      |
|   | kg/j              | 526    | 819     |
| P total en entrée avec recirculation                        | mg/l              | 11     | 3       |

| Critères de dimensionnement                                | Unités                            | Valeurs                 |      |
|--|-----------------------------------|-------------------------|------|
| Type de filtre   |                                   | faible / moyenne charge |      |
| Charge DBO <sub>5</sub> nominale                           | kg/m <sup>3</sup> .j              | 0.50 - 1.00             |      |
| Charge hydraulique à débit moyen                           | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 12 - 36                 |      |
| Charge hydraulique à débit max                             | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 36 - 60                 |      |
| Recirculation  | %                                 | 0                       | <500 |
| Production de boues  | kgMS/kgDBO rem.                   | 0,75                    |      |
| Traitement des eaux usées et coefficient de compactage; kT | -                                 | 0,0024                  |      |

| Géométrie                          | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|------------------------------------|----------------|---------|---------|
| Hauteur du lit bactérien           | m              | 5,00    | 5,00    |
| Diamètre adopté                    | m              | 31,6    | 31,6    |
| Diamètre de la zone d'alimentation | m              | 1,1     | 1,1     |
| Superficie unitaire                | m <sup>2</sup> | 782     | 782     |
| Volume unitaire                    | m <sup>3</sup> | 3.911   | 3.911   |

| Conditions d'exploitation                                   | Unités                                | 2029  | 2041  |
|---|---------------------------------------|-------|-------|
| Nb d'ouvrages   | unité                                 | 4     | 6     |
| Charge en DBO <sub>5</sub>                                  | kgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .j | 0,23  | 0,30  |
| Carga de TN   | kgTN/m <sup>3</sup> .j                | 0,19  | 0,23  |
| Charge hydraulique à Qmoyen temps sec avec recirculation    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j     | 15,0  | 52,9  |
| Charge hydraulique à Qmax                                   | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j     | 21,3  | 21,6  |
| Elimination DBO <sub>5</sub> adoptée                        | %                                     | 75    | 74    |
| DBO <sub>5</sub> dans l'effluent des filtres (soluble)      | mg/l                                  | 2     | 1     |
|   | kg/j                                  | 93    | 336   |
| DBO <sub>5</sub> dans l'effluent des filtres (particulaire) | mg/l                                  | 17    | 6     |
|   | kg/j                                  | 778   | 1.489 |
| DBO <sub>5</sub> total dans l'effluent des filtres          | mg/l                                  | 19    | 7     |
|   | kg/j                                  | 871   | 1.825 |
| MES dans l'effluent des filtres                             | mg/l                                  | 55    | 20    |
|   | kg/j                                  | 2.592 | 4.962 |
| N total dans l'effluent des filtres                         | mg/l                                  | 61    | 9     |
|   | kg/j                                  | 2.850 | 647   |
| P total dans l'effluent des filtres                         | mg/l                                  | 11    | 3     |
|   | kg/j                                  | 508   | 784   |



## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.8 (2) - Station de pompage pour la recirculation - Phase 2

| Données de base pour le dimensionnement | Unités | Valeurs |
|---|--------|---------|
| Débit maximum                           | l/s    | 2.035   |

| Critères de dimensionnement              | Unités | Valeurs |
|--|--------|---------|
| <b>Recommandations</b>                   |        |         |
| Nb minimum de pompes                     | unité  | 4+2     |
| Temps de rétention maximum dans le puits | h      | 1       |
| Fréquence de démarrage                   | (N/h)  | < 10    |

| Dimensionnement                  | Unités         | Valeurs |
|----------------------------------|----------------|---------|
| Nb de pompes en service          | unité          | 4       |
| Nb de pompes en réserve          | unité          | 2       |
| Débit unitaire de calcul         | l/s            | 509     |
| Débit unitaire de pompage adopté | l/s            | 550     |
| Longueur du puits                | m              | 25,00   |
| Largeur du puits                 | m              | 10,00   |
| Hauteur utile du puits           | m              | 2,10    |
| Volume total du puits            | m <sup>3</sup> | 525,00  |

| Paramètres d'exploitation  | Unités | 2029 |
|----------------------------|--------|------|
| Nb de pompes en service    | unité  | 4    |
| Temps moyen d'exploitation | h/j    | 5,8  |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.9 - Décanteur secondaire

| Données de base pour le dimensionnement                          |                   |        |        |
|--|-------------------|--------|--------|
|  | Unités            | 2029   | 2041   |
| Débit journalier moyen par temps sec avec recirculation maximale | m <sup>3</sup> /j | 46.791 | 70.320 |
| Débit moyen  | m <sup>3</sup> /h | 1.950  | 2.930  |
| Débit de temps sec   | l/s               | 542    | 814    |
| Débit maximum  | l/s               | 770    | 1.172  |
| DBO <sub>5</sub> en entrée (soluble)                             | mg/l              | 2      | 5      |
| MES en entrée  | mg/l              | 55     | 71     |

| Critères de dimensionnement           |                                   |         |         |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
|                                       | Unités                            | Valeurs | Valeurs |
| Charge superficielle à Qmoyen         | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 16 - 32 |         |
| Charge superficielle à Qmax           | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 35 - 48 |         |
| Temps de rétention à Qmax             | h                                 | > 1.5   |         |
| Débit au dessus du déversoir à Qmax   | m <sup>3</sup> /m.h               | 15,0    |         |
| Elimination des MES estimée           | %                                 | 85      |         |
| Concentration des boues sédimentaires | %                                 | 1,0     |         |
| Densité des boues sédimentaires       | kg/m <sup>3</sup>                 | 1.020   |         |

| Géométrie                          |                |         |         |
|------------------------------------|----------------|---------|---------|
|                                    | Unités         | Valeurs | Valeurs |
| Diamètre                           | m              | 31,00   |         |
| Hauteur cylindrique                | m              | 3,60    |         |
| Diamètre de la zone d'alimentation | m              | 4,00    |         |
| Superficie unitaire                | m <sup>2</sup> | 738,0   |         |
| Diamètre du puits à boues          | m              | 4,05    |         |
| Hauteur du tronc conique           | m              | 0,95    |         |
| Volume unitaire                    | m <sup>3</sup> | 2.246   |         |
| Périmètre                          | m              | 97      |         |

| Paramètres d'exploitation           |                                   |      |      |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------|------|
|                                     | Unités                            | 2029 | 2041 |
| Nb de décanteurs                    | unityé                            | 4    | 6    |
| Charge hydraulique à Qmoyen         | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 16   | 16   |
| Charge hydraulique à Qmax temps sec | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 16   | 16   |
| Charge hydraulique à Qmax           | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .j | 22,5 | 22,9 |
| Temps de rétention à Qmax           | heure                             | 3,2  | 3,2  |
| Temps de rétention à Qmax temps sec | heure                             | 4,6  | 4,6  |
| Temps de rétention à Qmoyen         | heure                             | 4,6  | 4,6  |
| Débit au-dessus du réservoir à Qmax | m <sup>3</sup> /m.h               | 7    | 7    |

| Production de boues          |                   |       |       |
|------------------------------|-------------------|-------|-------|
|                              | Unités            | 2029  | 2041  |
| Production de boues          | kg/j              | 2.203 | 4.218 |
| Production de boues          | m <sup>3</sup> /j | 216,0 | 413,5 |
| Débit d'extraction des boues | l/s               | 20,0  | 20,0  |
| Temps d'extraction des boues | heure             | 3,0   | 5,7   |

| Caractéristiques de l'effluent final |        |      |      |
|--------------------------------------|--------|------|------|
|                                      | Unités | 2029 | 2041 |
| DBO <sub>5</sub> total               | mg/l   | 16   | 18   |
| MES                                  | mg/l   | 20   | 20   |
| N total                              | mg/l   | 61   | 9    |
| P total                              | mg/l   | 11   | 11   |

| Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4 |                   |   |         |
|---|-------------------|---|---------|
| Note de calcul A4.10 - A - Chloration                           |                   |   |         |
| <b>Données de base pour le dimensionnement</b>                  |                   |   |         |
|   | Unités            | 2029                                    | 2041    |
| <b>Débit de dimensionnement</b>                                 |                   |   |         |
| Débit moyen journalier en temps sec                             | m <sup>3</sup> /j | 46.200                                  | 70.320  |
| Débit moyen journalier  | l/s               | 535                                     | 814     |
| Débit maximum en temps sec                                      | l/s               | 770                                     | 1.172   |
| Débit maximum   | l/s               | 770                                     | 1.172   |
| <b>Charges contaminantes</b>                                    |                   |   |         |
| Coliformes thermo-tolérants                                     | NMP/100 mℓ        | 8,E+07                                  | 8,E+07  |
| <b>Critères de dimensionnement</b>                              |                   |   |         |
|   | Unités            | Valeurs                                 | Valeurs |
| <b>Recommandations</b>  |                   |   |         |
| Temps de rétention à Qmax                                       | minute            | 30                                      |         |
| Nb de canaux de désinfection                                    | unité             | > 1                                     |         |
| Agent désinfectant retenu                                       | -                 | Hypochlorite de sodium                  |         |
| Forme commerciale   | -                 | Liquide                                 |         |
| Concentration chimique du produit                               | g/l               | 115                                     |         |
| Dose maximum à Qmax   | mg/l              | 8,0                                     |         |
| Dose maximum à Qmoyen   | mg/l              | 8,0                                     |         |
| Autonomie de stockage   | jour              | >10                                     |         |
| Type de pompe doseuse   | -                 | A membranes                             |         |
| Nb minimum d'unité  | unité             | 1+1                                     |         |
| Système de régulation   |                   | Automatique avec variateur de fréquence |         |
| Signal de contrôle  |                   | 4-20 mA à partir du débitmètre          |         |
| <b>Dimensionnement</b>  |                   |   |         |
|   | Unités            | Valeurs                                 | Valeurs |
| <b>Géométrie du canal</b>                                       |                   |   |         |
| Nb de canaux de désinfection                                    | unité             | 2                                       | 3       |
| Volume utile total requis                                       | m <sup>3</sup>    | 2.110                                   |         |
| Volume utile requis pour chaque canal                           | m <sup>3</sup>    | 1.055                                   |         |
| Tirant d'eau  | m                 | 4,0                                     |         |
| Largeur utile   | m                 | 7,0                                     |         |
| Longueur utile  | m                 | 29,48                                   |         |
| Nb de compartiments intérieurs                                  | unité             | 8                                       |         |
| Nb de déflecteurs intérieurs                                    | unité             | 7                                       |         |
| Epaisseurs des déflecteurs intérieurs                           | m                 | 0,20                                    |         |
| Longueur du compartiment  | m                 | 3,51                                    |         |
| Longueur des déflecteurs intérieurs                             | m                 | 5,60                                    |         |
| Passage entre les compartiments                                 | m                 | 2,00                                    |         |
| Volume utile unitaire   | m <sup>3</sup>    | 794                                     |         |
| Volume utile total  | m <sup>3</sup>    | 1.588                                   | 2.382   |
| <b>Dépôt d'hypochlorite de sodium</b>                           |                   |   |         |
| Nb de dépôt   | unité             | 2,00                                    | 3,00    |
| Volume unitaire   | m <sup>3</sup>    | 20,0                                    |         |
| Volume total  | m <sup>3</sup>    | 40,0                                    |         |
| <b>Pompes doseuses</b>  |                   |   |         |
| Type  | -                 | A membrane                              |         |
| Nb de pompes actives  | unité             | 2                                       | 3       |
| Nb de pompes en réserve   | unité             | 1                                       | 1       |
| Capacité unitaire   | l/h               | 150                                     |         |
| Pression d'alimentation   | mca               | 20                                      |         |
| Puissance   | kW                | 0,25                                    |         |
| Système de régulation   |                   | Automatique avec variateur de fréquence |         |
| Signal de commande  |                   | 4-20 mA à partir du débitmètre          |         |
| <b>Conditions d'exploitation</b>                                |                   |   |         |
|   | Unités            | 2029                                    | 2041    |
| Temps de rétention à Qmax                                       | minutos           | 34                                      | 34      |
| Temps de rétention à Qmax en temps sec                          | minutos           | 34                                      | 34      |
| Temps de rétention à Qmoyen                                     | minutos           | 50                                      | 49      |
| Consommation à Qmax temps sec                                   | kg/h              | 22                                      | 34      |
| Consommation à Qmoyen   | kg/h              | 15                                      | 23      |
| Consommation à Qmax   | l/h               | 193                                     | 294     |
| Consommation à Qmoyen   | l/h               | 134                                     | 204     |
| Autonomie de stockage   | días              | 12                                      | 12      |
| <b>Elimination des contaminants</b>                             |                   |   |         |
|   | Unités            | 2029                                    | 2041    |
| Coliformes thermotolérants                                      | unid. log         | 4,5                                     | 4,5     |
| <b>Caractéristiques de l'effluent</b>                           |                   |   |         |
|   | Unités            | 2029                                    | 2041    |
| Coliformes thermotolérants                                      | NMP/100 ml        | 2530                                    | 2530    |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.10 - B - Dé Chloration

| Données de base pour le dimensionnement                | Unités         | 2029                                     | 2041    |
|--|----------------|--|---------|
| <b>Débit de dimensionnement</b>                        |                |  |         |
| Débit moyen en temps sec                               | l/s            | 535                                      | 814     |
| Débit maximum en temps sec                             | l/s            | 770                                      | 1.172   |
| Débit maximum  | l/s            | 770                                      | 1.172   |
| Critères de dimensionnement                            | Unités         | Valeurs                                  | Valeurs |
| Agent de déchloration utilisé                          |                | Métabisulfite de sodium 96 % (solide)    |         |
| Pureté   | %              | 96                                       |         |
| Approvisionnement                                      |                | Gros sacs de 1 m <sup>3</sup> (2 unités) |         |
| Dose à Qmax (par mg de Cl libre dans efl.)             | ppm            | 1,5                                      |         |
| Dose à Qmoyen (par mg de Cl libre dans efl.)           | ppm            | 1,5                                      |         |
| Teneur max estimée en chlore résiduel                  | ppm            | 1,0                                      |         |
| Concentration du produit dilué                         | %              | 10,0                                     |         |
| Autonomie de stockage                                  | jour           | >15                                      |         |
| Type de mélangeur                                      | -              | Ligne statique                           |         |
| Nb de mélangeurs                                       | unité          | 2  |         |
| Type de pompes doseuses                                | -              | A membranes                              |         |
| Nb minimum de pompes                                   | unité          | 2+1                                      |         |
| Système de régulation                                  |                | Automatique avec variateur de fréquence  |         |
| Signal de contrôle                                     |                | 4-20 mA à partir du débitmètre           |         |
| Dimensionnement  | Unités         | Valeurs                                  | Valeurs |
| <b>Silo de chargement et doseur volumétrique</b>       |                |  |         |
| Capacité du silo                                       | m <sup>3</sup> | 1  |         |
| Doseur volumétrique                                    | kg/h           | 35                                       |         |
| Nb de réservoir de dilution                            | unité          | 2  |         |
| Capacité unitaire des réservoirs de dilution           | m <sup>3</sup> | 2,5                                      |         |
| <b>Mélangeur</b>                                       |                |  |         |
| Nb de mélangeurs                                       | unité          | 4  |         |
| Diamètre de chaque mélangeur                           | mm             | 800                                      |         |
| <b>Pompes doseuses</b>                                 |                |  |         |
| Type   | -              | A membranes                              |         |
| Nb de pompes actives                                   | unité          | 2  |         |
| Nb de pompes en réserve                                | unité          | 1  |         |
| Capacité unitaire                                      | l/h            | 50                                       |         |
| Pression d'alimentation                                | mca            | 20                                       |         |
| Puissance  | kW             | 0,25                                     |         |
| Système de régulation                                  |                | Automatique avec variateur de fréquence  |         |
| Signal de contrôle                                     |                | 4-20 mA à partir du débitmètre           |         |
| Conditions d'exploitation                              | Unités         | 2029                                     | 2041    |
| Consommation à Qmax en temps sec                       | kg/h           | 4,2                                      | 6,3     |
| Consommation à Qmoyen                                  | kg/h           | 2,9                                      | 4,4     |
| Consommation quotidienne moyenne de produit commercial | kg/j           | 72                                       | 110     |
| Consommation horaire moyenne à Qmax                    | l/h            | 42                                       | 63      |
| Consommation quotidienne moyenne de solution           | l/j            | 722                                      | 1.099   |
| Autonomie de stockage (produit solide)                 | jour           | 41,0                                     | 26,9    |
| Autonomie de stockage (solution)                       | jour           | 6,9                                      | 4,6     |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.11 - Station de pompage des boues primaires

| Données de base pour le dimensionnement | Unités | Valeurs | Valeurs |
|---|--------|---------|---------|
| Débit de boues primaires                | l/s    | 0       | 120     |

| Critères de dimensionnement          | Unités    | Valeurs | Valeurs |
|--------------------------------------|-----------|---------|---------|
| <b>Recommandations</b>               |           |         |         |
| Nb minimum de pompes                 | unité     | 1+1     | 1+1     |
| Temps de rétention max dans le puits | h         | 1       | 1       |
| Fréquence de démarrage               | (N/heure) | < 10    | < 10    |

| Dimensionnement                 | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|---------------------------------|----------------|---------|---------|
| Nb de pompes en service         | unité          | 1       | 1       |
| Nb de pompe en réserve          | unité          | 1       | 1       |
| Débit unitaire de calcul        | l/s            | 0       | 120     |
| Débit unitaire par pompe adopté | l/s            | 15      | 120     |
| Longueur du puits               | m              | 2,00    | 2,00    |
| Largueur du puits               | m              | 1,50    | 1,50    |
| Hauteur utile du puits          | m              | 0,70    | 0,70    |
| Volume total du puits           | m <sup>3</sup> | 2,10    | 2,10    |

| Conditions d'exploitation      | Unités            | 2029 | 2041 |
|--------------------------------|-------------------|------|------|
| Production des boues primaires | m <sup>3</sup> /j | 0    | 2186 |
| Temps moyen de fonctionnement  | h/j               | 0,0  | 5,1  |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.12 - Station de pompage des boues secondaires et surnageant

| Données de base pour le dimensionnement | Unités | Valeurs | Valeurs |
|---|--------|---------|---------|
| Débit de boues secondaires              | l/s    | 20      | 20      |
| Débit surnageant                        | l/s    | 20      | 20      |
| Débit de conception                     | l/s    | 40      | 40      |

| Critères de dimensionnement          | Unités    | Valeurs | Valeurs |
|--------------------------------------|-----------|---------|---------|
| <b>Recommandations</b>               |           |         |         |
| Nb minimum de pompes                 | unité     | 1+1     |         |
| Temps de rétention max dans le puits | h         | 1       |         |
| Fréquence de démarrage               | (N/heure) | < 10    |         |

| Dimensionnement                 | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|---------------------------------|----------------|---------|---------|
| Nb de pompes en service         | unité          | 1       |         |
| Nb de pompe en réserve          | unité          | 1       |         |
| Débit unitaire de calcul        | l/s            | 40      |         |
| Débit unitaire par pompe adopté | l/s            | 40      |         |
| Longueur du puits               | m              | 2,00    |         |
| Largueur du puits               | m              | 1,50    |         |
| Hauteur utile du puits          | m              | 1,50    |         |
| Volume total du puits           | m <sup>3</sup> | 4,50    |         |

| Conditions d'exploitation         | Unités            | 2029  | 2041  |
|-----------------------------------|-------------------|-------|-------|
| Volume total de boues secondaires | m <sup>3</sup> /j | 216,0 | 413,5 |
| Volume surnageant                 | m <sup>3</sup> /j | 0,96  | 1,44  |
| Volume total à pomper             | m <sup>3</sup> /j | 217   | 415   |
| Heure d'exploitation              | h/j               | 1,5   | 2,9   |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.13 - Épaississement des boues primaires et secondaires

| Données de base pour le dimensionnement        | Unités            | 2029  | 2041   |
|--|-------------------|-------|--------|
| Produc. moyenne de boues primaires épaissies   | kg/j              | 0     | 22.295 |
| Produc. moyenne de boues primaires épaissies   | m <sup>3</sup> /j | 0     | 2.186  |
| Produc. Moyenne de boues secondaires épaissies | kg/j              | 2.203 | 4.218  |
| Produc. Moyenne de boues secondaires épaissies | m <sup>3</sup> /j | 216   | 414    |

| Critères de dimensionnement          | Unités               | Valeurs | Valeurs |
|--------------------------------------|----------------------|---------|---------|
| Charge maximum de solides            | kg/m <sup>2</sup> .j | 100     | 100     |
| Efficacité d'élimination des solides | %                    | 90      | 90      |
| Concentration des boues épaissies    | % (p/v)              | 4       | 4       |
| Temps de rétention                   | jours                | 1,5     | 1,5     |

| Dimensionnement             | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|-----------------------------|----------------|---------|---------|
| <b>Capacité requise</b>     |                |         |         |
| Surface requise             | m <sup>2</sup> | 22      | 265     |
| Volume requis               | m <sup>3</sup> | 324     | 3.899   |
| <b>Dimensionns adoptées</b> |                |         |         |
| Diamètre                    | m              | 14,7    | 14,7    |
| Hauteur cylindrique         | m              | 4,0     | 4,0     |
| Hauteur conique             | m              | 0,65    | 0,65    |
| Surperficie unitaire        | m <sup>2</sup> | 170     | 170     |
| Diamètre intérieur          | m              | 5       | 5       |
| Volume unitaire             | m <sup>3</sup> | 732     | 732     |

| Conditions d'exploitation               | Unités               | 2029  | 2041   |
|---|----------------------|-------|--------|
| Nb de réservoirs en exploitation        | unité                | 1     | 6      |
| Production de boues primaires épaissies | kg/j                 | 0     | 22.295 |
| Production de boues primaires épaissies | m <sup>3</sup> /j    | 0     | 2.186  |
| Production de boues secondaires         | kg/j                 | 2.203 | 4.218  |
| Production de boues secondaires         | m <sup>3</sup> /j    | 216   | 414    |
| Production totale de boues              | kg/j                 | 2.203 | 26.513 |
| Production totale de boues              | m <sup>3</sup> /j    | 216   | 2.599  |
| Charge de solides                       | kg/m <sup>2</sup> .j | 13,0  | 26,0   |
| Temps de rétention                      | js                   | 3,4   | 1,7    |
| Production moyenne de boues épaissies   | kg/j                 | 1.983 | 23.862 |
| Production moyenne de boues épaissies   | m <sup>3</sup> /j    | 49    | 585    |
| Production de surnageant                | m <sup>3</sup> /j    | 167   | 2.014  |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.14 - Station de pompage des boues à digérer

| Données de base pour le dimensionnement | Unités            | 2029    | 2041    |
|---|-------------------|---------|---------|
| Débit maximum de boues à pomper         | m <sup>3</sup> /j | 0       | 585     |
| Critères de dimensionnement             | Unités            | Valeurs | Valeurs |
| Nb minimum de pompes                    | un                | 2+1     |         |
| Dimensionnement                         | Unités            | Valeurs | Valeurs |
| Nb de pompes en service                 | un                | 2       |         |
| Nb de pompes en réserve                 | un                | 1       |         |
| Débit unitaire de calcul                | l/s               | 0,0     | 6,8     |
| Débit unitaire de pompage adopté        | l/s               | 10,0    |         |
| Conditions d'exploitation               | Unités            | 2029    | 2041    |
| Débit de pompage                        | m <sup>3</sup> /j | 0       | 585     |
| Temps d'exploitation                    | h/j               | 0,0     | 16,2    |



## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.15 - Digestion des boues

| Données de base pour le dimensionnement    | Unités            | 2029 | 2041   |
|--|-------------------|------|--------|
| Débit moyen journalier des boues à digérer | m <sup>3</sup> /j | 0    | 585    |
|  | kg/j              | 0    | 23.862 |
| Pourcentage de solides volatiles           | %                 | 72   | 72     |
| Température de conception                  | °C                | 23   | 23     |

| Critères de dimensionnement                     | Unités                 | Valeurs   | Valeurs |
|---|------------------------|-----------|---------|
| Temps de rétention minimum                      | jours                  | 45        |         |
| Eficiencia en la reducción de solidos volatiles | %                      | 50        |         |
| Production de gaz                               | m <sup>3</sup> /Kg MVS | 0.8 - 1.1 |         |
| Concentration des boues dégérées                | %                      | 3         |         |
| Facteur de sécurité                             | %                      | 15,00     |         |

| Géométrie           | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|---------------------|----------------|---------|---------|
| Diamètre            | m              | 27,0    |         |
| Hauteur cylindrique | m              | 12,25   |         |
| Hauteur conique     | m              | 2,40    |         |
| Superficie unitaire | m <sup>2</sup> | 573     |         |
| Diamètre intérieur  | m              | 2,0     |         |
| Volume unitaire     | m <sup>3</sup> | 7508    |         |

| Paramètre d'exploitation               | Unités            | 2029 | 2041   |
|--|-------------------|------|--------|
| Nb de réservoirs                       | unité             | 0    | 4      |
| Temps de rétention                     | jours             |      | 51,4   |
| Charge des solides volatiles en entrée | kg/j              |      | 17.180 |
| Réduction des solides volatiles        | kg/j              |      | 8.590  |
| Production de boues digérées           | kg/j              |      | 15.271 |
| Production de boues digérées           | m <sup>3</sup> /j |      | 499    |
| Production de biogas                   | m <sup>3</sup> /j |      | 13744  |
| Production de CH <sub>4</sub>          | m <sup>3</sup> /j |      | 8934   |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.16 - Ouvrage de stockage / épaissement des boues digérées

| Données de base pour le dimensionnement   | Unités            | 2029 | 2041 |
|---|-------------------|------|------|
| Débit moyen journalier des boues digérées | m <sup>3</sup> /j | 222  | 499  |

| Critères de dimensionnement | Unités | Valeurs | Valeurs |
|-----------------------------|--------|---------|---------|
| Temps de rétention minimum  | jours  | 2,0     |         |
| Concentration des boues     | %      | 4       |         |

| Géométrie           | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|---------------------|----------------|---------|---------|
| Diamètre            | m              | 13,4    |         |
| Hauteur cylindrique | m              | 4,0     |         |
| Superficie unitaire | m <sup>2</sup> | 141     |         |
| Volume unitaire     | m <sup>3</sup> | 564     |         |

| Paramètres d'exploitation         | Unités            | 2029  | 2041   |
|-----------------------------------|-------------------|-------|--------|
| Nb de réservoirs                  | unité             | 1     | 2      |
| Temps de rétention                | jours             | 2,5   | 2,3    |
| Production de boues à déshydrater | kg/j              | 6.652 | 15.271 |
| Production de boues à déshydrater | m <sup>3</sup> /j | 163,0 | 374,3  |
| Production de surnageant          | m <sup>3</sup> /j | 59    | 125    |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.17 - Déshydratation des boues

| Données de base pour le dimensionnement   | Unités            | 2029  | 2041   |
|---|-------------------|-------|--------|
| Débit journalier moyen des boues digérées | m <sup>3</sup> /j | 163   | 374    |
| Débit massique des boues digérées         | kg/j              | 6.652 | 15.271 |
| Concentration des boues à déshydrater     | % (p/v)           | 4,0   | 4,0    |

| Critères de dimensionnement              | Unités       | Valeurs        | Valeurs |
|--|--------------|----------------|---------|
| Type d'équipement pour la déshydratation | -            | centrifugeuses |         |
| Nb de jours d'opération par semaine      | jour/semaine | 7,0            |         |
| Heures de fonctionnement par jours (max) | h/j          | 12             |         |
| Concentration des boues déshydratées     | % (p/v)      | 20             |         |
| Densité des boues déshydratées           | -            | 1,040          |         |
| Efficacité de rétention des solides      | %            | 95             |         |
| Autonomie de stockage des boues          | jours        | 5              |         |
| Nb minimum d'unités                      | -            | 2              |         |

| Dimensionnement                                    | Unités            | Valeurs        | Valeurs |
|--|-------------------|----------------|---------|
| Type d'équipement de déshydratation                | -                 | centrifugeuses |         |
| Capacité unitaire (concentración ingreso = 5% p/v) | m <sup>3</sup> /h | 10             |         |

| Paramètres d'exploitation                 | Unités            | 2029  | 2041   |
|---|-------------------|-------|--------|
| Nb de centrifugeuses en exploitation      | unité             | 2     | 3      |
| Temps de fonctionnement par centrifugeuse | h/j               | 8,2   | 12,5   |
| Production de boues déshydratées          | kg/j              | 6.320 | 14.508 |
| Production de boues déshydratées          | m <sup>3</sup> /j | 30,4  | 69,7   |
| Production de filtrats                    | m <sup>3</sup> /j | 132,7 | 304,6  |
| Production de filtrats                    | m <sup>3</sup> /h | 32,5  | 73,2   |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.17 (2) - Lits de séchage des boues

| Données de base pour le dimensionnement | Unités            | 2029      | 2041      |
|---|-------------------|-----------|-----------|
| Débit maximum de boues à sécher         | m <sup>3</sup> /j | 30        | 70        |
| Charge                                  | kg/j              | 6.320     | 14.508    |
|   | kg/an             | 2.306.677 | 5.295.392 |

| Critères de dimensionnement            | Unités                | Valeurs   | Valeurs |
|--|-----------------------|-----------|---------|
| <b>Recommandations</b>                 |                       |           |         |
| Hauteur maximum des boues brutes       | m                     | 0.2 - 0.4 |         |
| Période d'application / mise en place  | h                     | 4 - 6     |         |
| Période de séchage                     | semaines              | 2 - 3     |         |
| Période d'élimination des boues sèches | jours                 | 1 - 2     |         |
| Concentration des boues sèches         | %                     | 40        |         |
| Densité apparente des résidus          | kg/m <sup>3</sup>     | 900       |         |
| Charge des solides                     | kg/m <sup>2</sup> /an | 200       |         |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b> |                       |           |         |
| Hauteur maximum des boues brutes       | m                     | 0,2       |         |
| Période d'application / mise en place  | h                     | 6         |         |
| Période de séchage                     | semaines              | 3         |         |
| Période d'élimination des boues sèches | jours                 | 2         |         |
| Concentration des boues sèches         | %                     | 40        |         |
| Charge des solides                     | kg/m <sup>2</sup> /an | 200       |         |

| Dimensionnement            | Unités         | 2029   | 2041   |
|----------------------------|----------------|--------|--------|
| <b>Capacité requise</b>    |                |        |        |
| Nb minimum de lits         | Unités         | 23     | 23     |
| Surface nécessaire par lit | m <sup>2</sup> | 152    | 349    |
| Surface nécessaire totale  | m <sup>2</sup> | 11.533 | 26.477 |
| <b>Dimensions adoptées</b> |                |        |        |
| Nb de lits                 | Unités         | 33     | 74     |
| Longueur                   | m              | 30,00  | 30,00  |
| Largeur                    | m              | 12,00  | 12,00  |
| Superficie unitaire        | m <sup>2</sup> | 360    | 360    |
| Superficie totale          | m <sup>2</sup> | 11.880 | 26.640 |

| Conditions d'exploitation                      | Unités            | 2029  | 2041   |
|--|-------------------|-------|--------|
| Teneur en matière solide avant lits de séchage | %                 | 20    | 20     |
| Teneur en matière solide avant lits de séchage | kg/m <sup>3</sup> | 200   | 200    |
| Solides  | kg/j              | 6.077 | 13.950 |
| Volume après séchage                           | m <sup>3</sup> /j | 15    | 35     |
| Volume de vidange                              | m <sup>3</sup> /j | 15    | 35     |

### Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

#### Note de calcul A4.18 - Station de pompage des surnageants issus de l'épaississement et de la déshydratation

| Données de base pour le dimensionnement                    | Unités            | 2029 | 2041  |
|--|-------------------|------|-------|
| Débit de surnageant issus des épaisseurs de boues brutes   | m <sup>3</sup> /j | 167  | 2.014 |
| Débit de surnageant issus des épaisseurs de boues digérées | m <sup>3</sup> /j | 59   | 125   |
| Débit de filtrat de la déshydratation des boues            | m <sup>3</sup> /j | 133  | 305   |
| Débit de drainage des lits de séchage                      | m <sup>3</sup> /j | 15   | 35    |
| Débit total  | m <sup>3</sup> /j | 374  | 2.479 |

| Critères de dimensionnement pour la bache de pompage | Unités | Valeurs | Valeurs |
|--|--------|---------|---------|
| Temps de séjour minimum                              | jours  | 1,0     |         |

| Géométrie de la bache de pompage | Unités         | Valeurs | Valeurs |
|----------------------------------|----------------|---------|---------|
| Diamètre                         | m              | 25,0    |         |
| Hauteur cylindrique              | m              | 5,0     |         |
| Superficie unitaire              | m <sup>2</sup> | 491     |         |
| Volume unitaire                  | m <sup>3</sup> | 2454    |         |

| Critères de conception des pompes    | Unités | Valeurs     | Valeurs |
|--------------------------------------|--------|-------------|---------|
| Nb minimum de pompe                  | unité  | 2+1         |         |
| Type de pompe                        |        | Submergible |         |
| Période de fonctionnement des pompes | h/j    | 8           |         |

| Dimensionnement des pompes | Unités | Valeurs | Valeurs |
|----------------------------|--------|---------|---------|
| Nb de pompe en service     | unité  | 1       |         |
| Nb de pompe en réserve     | unité  | 1       |         |
| Débit unitaire de calcul   | l/s    | 86,1    |         |
| Débit unitaire adopté      | l/s    | 90,0    |         |

| Paramètres de fonctionnement        | Unités     | 2029 | 2041 |
|-------------------------------------|------------|------|------|
| Nombre de bache                     | unité      | 1    | 1    |
| Temps de rétention                  | jours      | 6,6  | 1,0  |
| Nb d'heure d'exploitation par pompe | heure/jour | 1,2  | 7,7  |

### Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

#### Note de calcul A4.19 - Production des résidus et boues

| Année | Fosse "piège à pierres"<br>(tonne/an) | Dégrillage grossier<br>(tonne/an) | Dégrillage fin<br>(tonne/an) | Sables<br>(tonne/an) | Graisses<br>(tonne/an) | Boues sèches<br>(tonne/an) |
|-------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|
| 2029  | 759                                   | 675                               | 717                          | 1.653                | 944                    | 2.218                      |
| 2041  | 1.155                                 | 1.027                             | 1.091                        | 2.515                | 1.437                  | 5.092                      |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.20 - Station de pompage initiale

| Données de base pour le dimensionnement | Unités            | 2029   | 2041    |
|---|-------------------|--------|---------|
| Débit maximum de pompage                | m <sup>3</sup> /j | 66.528 | 101.261 |

| Critères de conception | Unités | Valeurs | Valeurs |
|------------------------|--------|---------|---------|
| Nb minimum de pompes   | unité  | 3+1     | 4+2     |

| Dimensionnement          | Unités | Valeurs | Valeurs |
|--------------------------|--------|---------|---------|
| Nb de pompe en service   | unité  | 3       | 4       |
| Nb de pompe en réserve   | unité  | 1       | 2       |
| Débit unitaire de calcul | l/s    | 256,7   | 293,0   |
| Débit unitaire adopté    | l/s    | 300,0   | 300,0   |

| Conditions d'exploitation | Unités            | 2029  | 2041   |
|---------------------------|-------------------|-------|--------|
| Débit de pompage          | m <sup>3</sup> /j | 66528 | 101261 |
| Temps de fonctionnement   | heure / jour      | 20,5  | 23,4   |

## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul A4.21 - Consommation de réactifs

| Année | Chlore pur |            | Métabisulfite de sodium à 96% |            |
|-------|------------|------------|-------------------------------|------------|
|       | (kg/j)     | (tonne/an) | (kg/j)                        | (tonne/an) |
| 2029  | 532        | 194        | 72,2                          | 26,3       |
| 2041  | 810        | 296        | 109,9                         | 40,1       |

| Année | Chlore, Hypochlorite de sodium 10 % |            | Métabisulfite de sodium à 96% |            |
|-------|-------------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
|       | (kg/j)                              | (tonne/an) | (kg/j)                        | (tonne/an) |
| 2029  | 5.322                               | 1.943      | 72                            | 26         |
| 2041  | 8.101                               | 2.957      | 110                           | 40         |



## Station de traitement des eaux usées MOTACUSAL - Alternative A4

### Note de calcul additionnelle - Séchage solaire

| Données de base pour le dimensionnement | Unités            | 2029      | 2041      |
|---|-------------------|-----------|-----------|
| Débit maximum de boues à sécher         | m <sup>3</sup> /j | 30        | 69        |
| Charge                                  | kg/j              | 6.320     | 14.416    |
|   | kg/an             | 2.306.677 | 5.261.724 |
|   | t/an              | 2.307     | 5.262     |

| Critères de dimensionnement            | Unités                   | Valeurs   | Valeurs |
|--|--------------------------|-----------|---------|
| <b>Recommandations</b>                 |                          |           |         |
| Hauteur maximum des boues brutes       | m                        | 0.2 - 0.4 |         |
| Période d'application / mise en place  | h                        | 4 - 6     |         |
| Période de séchage                     | semaines                 | 0,5 - 2   |         |
| Période d'élimination des boues sèches | jours                    | 1 - 2     |         |
| Concentration des boues sèches         | %                        | 80        |         |
| Densité apparente des résidus          | kg/m <sup>3</sup>        | 900       |         |
| Charge des solides                     | kg/m <sup>2</sup> /année | 2000      |         |
| <b>Critères retenus pour le calcul</b> |                          |           |         |
| Hauteur maximum des boues brutes       | m                        | 0,2       |         |
| Période d'application / mise en place  | h                        | 6         |         |
| Période de séchage                     | semaines                 | 0,5       |         |
| Période d'élimination des boues sèches | jours                    | 1         |         |
| Concentration des boues sèches         | %                        | 80        |         |
| Charge des solides                     | kg/m <sup>2</sup> /y     | 2000      |         |

| Dimensionnement            | Unités         | 2029  | 2041  |
|----------------------------|----------------|-------|-------|
| <b>Capacité requise</b>    |                |       |       |
| Surface nécessaire par lit | m <sup>2</sup> | 152   | 347   |
| Surface nécessaire totale  | m <sup>2</sup> | 1.153 | 2.631 |
| <b>Dimensions adoptées</b> |                |       |       |
| Nb de lits                 | Unités         | 4     | 8     |
| Longueur                   | m              | 30,00 | 30,00 |
| Largeur                    | m              | 12,00 | 12,00 |
| Superficie unitaire        | m <sup>2</sup> | 360   | 360   |
| Superficie totale          | m <sup>2</sup> | 1.440 | 2.880 |

| Conditions d'exploitation                      | Unités            | 2029  | 2041   |
|--|-------------------|-------|--------|
| Teneur en matière solide avant lits de séchage | %                 | 20    | 20     |
| Teneur en matière solide avant lits de séchage | kg/m <sup>3</sup> | 200   | 200    |
| Solides  | kg/j              | 6.077 | 13.861 |
| Volume après séchage                           | m <sup>3</sup> /j | 8     | 17     |
| Volume de vidange                              | m <sup>3</sup> /j | 23    | 52     |

# 5

## **ANNEXE 5: DETAILS DES COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION**

### Coûts d'investissement - STEU Este

#### Alternative 1 - Lagunages

| Unité de traitement                             | Unités spécifiques |                | Coûts spécifiques * |                          | PHASE 1     | PHASE 2      | PHASE 1          | PHASE 2          |
|---|--------------------|----------------|---------------------|--------------------------|-------------|--------------|------------------|------------------|
|   | (-)                | (-)            | (-)                 | (-)                      | Nb d'unités | (addicional) | COÛTS TOTAUX     | COÛTS TOTAUX     |
|   |                    |                |                     |                          | (-)         | (addicional) | (US DOLLAR)      | (US DOLLAR)      |
| <b>File "Eau"</b>                               |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                  |
| Dessableur                                      | 220                | m <sup>3</sup> | 200                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 2.00         | -                | 88 080           |
| Lagunes anaérobies avec geotextile              | 15 500             | m <sup>2</sup> | 18                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.35        | -            | 376 650          | -                |
| Lagunes facultatives avec geotextile            | 55 000             | m <sup>2</sup> | 14                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.35        | -            | 1 039 500        | -                |
| Serie 1 - Lagunes de maturation avec geotextile | 50 000             | m <sup>2</sup> | 14                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.35        | -            | 945 000          | -                |
| Serie 2 - Lagunes de maturation avec geotextile | 50 000             | m <sup>2</sup> | 14                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.35        | -            | 945 000          | -                |
| <b>File "Boue"</b>                              |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                  |
| Ponton avec pompes pour l'aspiration des boues  | 1.00               | -              | 195 000             | (US\$)                   | 1.00        | -            | 195 000          | -                |
| Lits de séchage des boues                       | 975                | m <sup>2</sup> | 20                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 12.00       | 2.00         | 234 000          | 39 000           |
| <b>Autres</b>                                   |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                  |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.                 | 451 520            | hab.           | 4                   | (US\$ / hab.)            | 1.00        | -            | 1 806 080        | -                |
| Préparation du terrain                          | 241 875            | m <sup>2</sup> | 0.50                | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.00        | -            | 120 938          | -                |
| Remblai   | 460 350            | m <sup>3</sup> | 5                   | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | 1.00        | -            | 2 301 750        | -                |
| <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b>            |                    |                |                     |                          |             |              | <b>7 963 917</b> | <b>127 080</b>   |
| <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>                  |                    |                |                     |                          |             |              |                  | <b>8 090 997</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

#### Alternative 2 - Lagunes + filtres anaérobies

| Unité de traitement                             | Unités spécifiques |                | Coûts spécifiques * |                          | PHASE 1     | PHASE 2      | PHASE 1          | PHASE 2           |
|---|--------------------|----------------|---------------------|--------------------------|-------------|--------------|------------------|-------------------|
|   | (-)                | (-)            | (-)                 | (-)                      | Nb d'unités | (addicional) | COÛTS TOTAUX     | COÛTS TOTAUX      |
|   |                    |                |                     |                          | (-)         | (addicional) | (US DOLLAR)      | (US DOLLAR)       |
| <b>File "Eau"</b>                               |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                   |
| Dessableur                                      | 220                | m <sup>3</sup> | 200                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 2.00         | -                | 88 080            |
| Restructuration des 3 lagunes existantes        | 3 000              | m <sup>2</sup> | 50                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | -           | 3.00         | -                | 450 000           |
| Filtres anaérobies / Bassins de dénitrification | 10 080             | m <sup>3</sup> | 250                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | 3.00        | 7.00         | 7 560 000        | 17 640 000        |
| Décanteurs primaires                            | 2 700              | m <sup>3</sup> | 250                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 3.00         | -                | 2 025 000         |
| Décanteurs intermédiaires                       | 3 600              | m <sup>3</sup> | 250                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 6.00         | -                | 5 400 000         |
| Lits bactériens avec support plastique          | 4 801              | m <sup>3</sup> | 280                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 6.00         | -                | 8 065 680         |
| Décanteurs secondaires                          | 3 372              | m <sup>3</sup> | 250                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 6.00         | -                | 5 058 000         |
| <b>File "Boue"</b>                              |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                   |
| Ponton avec pompes pour l'aspiration des boues  | 1.00               | -              | 195 000             | (US\$)                   | 1.00        | -            | 195 000          | -                 |
| Epaississement boues prim. + secondaires        | 1 808              | m <sup>3</sup> | 100                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 1.00         | -                | 180 800           |
| Digesteurs                                      | 6 563              | m <sup>3</sup> | 250                 | (US\$ / m <sup>3</sup> ) | -           | 2.00         | -                | 481 000           |
| Lits de séchage des boues                       | 975                | m <sup>2</sup> | 20                  | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 12.00       | 19.00        | 234 000          | 370 500           |
| <b>Autres</b>                                   |                    |                |                     |                          |             |              |                  |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.                 | 451 520            | hab.           | 4                   | (US\$ / hab.)            | 1.00        | -            | 1 806 080        | -                 |
| Préparation du terrain                          | 46 594             | m <sup>2</sup> | 0.50                | (US\$ / m <sup>2</sup> ) | 1.00        | -            | 23 297           | -                 |
| <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b>            |                    |                |                     |                          |             |              | <b>9 818 377</b> | <b>39 759 060</b> |
| <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>                  |                    |                |                     |                          |             |              |                  | <b>49 577 437</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

**Alternative 3 - Boues activées**

| Unité de traitement                                   | Unités spécifiques |                        | Coûts spécifiques *           |     | PHASE 1                          |              | PHASE 2      |                   | PHASE 1     |  | PHASE 2 |                   |
|---|--------------------|------------------------|-------------------------------|-----|----------------------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|--|---------|-------------------|
|   | (-)                | (-)                    | (-)                           | (-) | Nb d'unités                      | (-)          | (addicional) | COÛTS TOTAUX      | (US DOLLAR) |  |         |                   |
| <b>File "Eau"</b>                                     |                    |                        |                               |     |                                  |              |              |                   |             |  |         |                   |
| Dessableur  |                    | 220 m <sup>3</sup>     | 200 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | 2.00                             | -            |              | 88 080            |             |  |         | -                 |
| Décanteurs primaires                                  |                    | 1 350 m <sup>3</sup>   | 250 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | -                                | 3.00         |              | -                 |             |  |         | 1 012 500         |
| Filtres anaérobies                                    |                    | 10 080 m <sup>3</sup>  | 250 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | 3.00                             | 7.00         |              | 7 560 000         |             |  |         | 17 640 000        |
| Procédés par boues activées (bassins d'aération)      |                    | 8 800 m <sup>3</sup>   | 300 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | 1.00                             | 3.00         |              | 2 640 000         |             |  |         | 7 920 000         |
| Décanteurs secondaires                                |                    | 3 372 m <sup>3</sup>   | 250 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | 3.00                             | -            |              | 2 529 000         |             |  |         | -                 |
| <b>File "Boue"</b>                                    |                    |                        |                               |     |                                  |              |              |                   |             |  |         |                   |
| Ponton avec pompes pour l'aspiration des boues        |                    | 1.00 -                 | 195 000 (US\$)                |     | 1.00                             | -            |              | 195 000           |             |  |         | -                 |
| Epaississement boues prim. + secondaires              |                    | 1 808 m <sup>3</sup>   | 100 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | -                                | 1.00         |              | -                 |             |  |         | 180 800           |
| Digesteurs  |                    | 6 563 m <sup>3</sup>   | 250 (US\$ / m <sup>3</sup> )  |     | -                                | 2.00         |              | -                 |             |  |         | 481 000           |
| Lits de séchage des boues                             |                    | 975 m <sup>2</sup>     | 20 (US\$ / m <sup>2</sup> )   |     | 12.00                            | 19.00        |              | 234 000           |             |  |         | 370 500           |
| <b>Autres</b>   |                    |                        |                               |     |                                  |              |              |                   |             |  |         |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.                       |                    | 451 520 hab.           | 3 (US\$ / hab.)               |     | 1.00                             | -            |              | 1 354 560         |             |  |         | -                 |
| Préparation du terrain                                |                    | 138 622 m <sup>2</sup> | 0.50 (US\$ / m <sup>2</sup> ) |     | 1.00                             | -            |              | 69 311            |             |  |         | -                 |
| Restructuration des 3 lagunes facultatives existentes |                    | 165 000 m <sup>2</sup> | 5 (US\$ / m <sup>2</sup> )    |     | -                                | 3.00         |              | -                 |             |  |         | 2 475 000         |
|   |                    |                        |                               |     | <b>COSTOS de INVERSIÓN TOTAL</b> |              |              | <b>14 669 951</b> |             |  |         | <b>27 604 800</b> |
|   |                    |                        |                               |     |                                  | <b>TOTAL</b> |              |                   |             |  |         | <b>42 274 751</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

**Coûts d'exploitation pour les alternatives de la STEU ESTE**

**Alternative 1 - Lagunage**

| Coûts d'exploitation STEU ESTE - Alternative 1 |                 |                 |                |
|--|-----------------|-----------------|----------------|
| Personnel                                      |                 |                 |                |
| Fonction                                       | Coût spécifique | Nombre          | Coût total     |
| (-)  | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)    |
| Chef de station                                | 12 000.00       | 1.00            | 12 000         |
| Ing. Electricien                               | 8 400.00        | 1.00            | 8 400          |
| Biologiste, Chimiste                           | 8 400.00        | 1.00            | 8 400          |
| Opérateur                                      | 4 200.00        | 2.00            | 8 400          |
| Main d'œuvre                                   | 3 000.00        | 2.00            | 6 000          |
| <b>TOTAL</b>                                   |                 |                 | <b>43 200</b>  |
| Electricité                                    |                 |                 |                |
| Phase du projet                                | Demande         | Coût spécifique | Coût total     |
|  | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)    |
| Phase 1 - 2029                                 | 290 549         | 0.08            | 24 406         |
| Phase 2 - 2041                                 | 292 615         | 0.08            | 24 580         |
| Transport des boues et résidus                 |                 |                 |                |
| Phase du projet                                | Masse           | Coût spécifique | Coût total     |
|  | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)    |
| Phase 1 - 2029                                 | 6 365           | 50              | 318 270        |
| Phase 2 - 2041                                 | 6 649           | 50              | 332 470        |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>385 876</b> |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>400 250</b> |

**Alternative 2 - Lagunes + filtres anaérobie**

| Coûts d'exploitation STEU ESTE - Alternative 2 |                 |                 |                |
|--|-----------------|-----------------|----------------|
| Personnel                                      |                 |                 |                |
| Fonction                                       | Coût spécifique | Nombre          | Coût total     |
| (-)  | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)    |
| Chef de station                                | 12 000          | 1               | 12 000         |
| Ing. Electricien                               | 8 400           | 2               | 16 800         |
| Biologiste, Chimiste                           | 8 400           | 2               | 16 800         |
| Opérateur                                      | 4 200           | 4               | 16 800         |
| Main d'œuvre                                   | 3 000           | 4               | 12 000         |
| <b>TOTAL</b>                                   |                 |                 | <b>74 400</b>  |
| Electricité                                    |                 |                 |                |
| Phase du projet                                | Demande         | Coût spécifique | Coût total     |
|  | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)    |
| Phase 1 - 2029                                 | 308 069         | 0.08            | 25 878         |
| Phase 2 - 2041                                 | 5 829 288       | 0.08            | 489 660        |
| Transport des boues et résidus                 |                 |                 |                |
| Phase du projet                                | Masse           | Coût spécifique | Coût total     |
|  | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)    |
| Phase 1 - 2029                                 | 5 334           | 50              | 266 682        |
| Phase 2 - 2041                                 | 8 388           | 50              | 419 401        |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>366 960</b> |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>983 461</b> |

**Alternative 3 - Boues activées**

| Coûts d'exploitation STEU ESTE - Alternative 1 |                 |                 |                  |
|--|-----------------|-----------------|------------------|
| Personnel                                      |                 |                 |                  |
| Fonction                                       | Coût spécifique | Nombre          | Coût total       |
| (-)  | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)      |
| Chef de station                                | 12 000.00       | 1.00            | 12 000           |
| Ing. Electricien                               | 8 400.00        | 2.00            | 16 800           |
| Biologiste, Chimiste                           | 8 400.00        | 2.00            | 16 800           |
| Opérateur                                      | 4 200.00        | 4.00            | 16 800           |
| Main d'œuvre                                   | 3 000.00        | 4.00            | 12 000           |
| <b>TOTAL</b>                                   |                 |                 | <b>74 400</b>    |
| Electricité                                    |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                | Demande         | Coût spécifique | Coût total       |
|  | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                 | 3 042 128       | 0.08            | 255 539          |
| Phase 2 - 2041                                 | 15 363 869      | 0.08            | 1 290 565        |
| Transporte de RESIDUOS Y LODOS                 |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                | Masse           | Coût spécifique | Coût total       |
|  | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                 | 7 252           | 50              | 362 599          |
| Phase 2 - 2041                                 | 9 949           | 50              | 497 426          |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>692 538</b>   |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)              |                 |                 | <b>1 862 391</b> |

### Coûts d'investissement - STEU Motacusal

#### Alternative 1 - Boues activées avec décantation primaire

| Unité de traitement  | Unités spécifiques |         | Coûts spécifiques * |                | PHASE 1     | PHASE 2      | PHASE 1           | PHASE 2           |
|--|--------------------|---------|---------------------|----------------|-------------|--------------|-------------------|-------------------|
|  |                    |         |                     |                | Nb d'unités |              | COÛTS TOTAUX      |                   |
| (-)  | (-)                |         | (-)                 |                | (-)         | (addicional) | (US DOLLAR)       |                   |
| <b>File "Eau"</b>  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Prétraitement  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| <i>Fosse "piège à pierres", dégrillages grossier &amp; fin, dessableur / dégraisseur</i> | 682 177            | eq. Hab | 0.50                | eq. Hab        | 1.00        | -            | 341 088           | -                 |
| Décanteurs primaires   | 2 700              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 2.00        | 1.00         | 1 350 000         | 675 000           |
| Filtres anaérobies   | 5 670              | m3      | 200                 | US \$ / m3     | 8.00        |              | 9 072 000         | -                 |
| Procédé boues activées (bassin d'aération)   | 17 600             | m3      | 300                 | US \$ / m3     | 1.00        | 3.00         | 5 280 000         | 15 840 000        |
| Décanteurs secondaires   | 4 726              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 2.00        | 2.00         | 2 363 000         | 2 363 000         |
| Chloration / Déchloration  | 682 177            | eq. Hab | 0.75                | US \$ / eq.hab | 1.00        | -            | 511 632           | -                 |
| <b>File "Boue"</b>   |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Epaississement boues prim. + secondaires   | 3 221              | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00        | 2.00         | 322 100           | 644 200           |
| Digesteurs   | 10 148             | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 2.00        | 4.00         | 5 074 000         | 10 148 000        |
| Bassin de stockage / épaissement   | 1 767              | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00        | -            | 176 700           | -                 |
| Déshydratation des boues   | 1                  | ud      | 175 000             | US \$ / ud     | 1.00        | -            | 175 000           | -                 |
| <b>Autres</b>  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.  | 682 177            | eq. Hab | 3                   | US \$ / eq.hab | 1.00        | -            | 2 046 530         | -                 |
| Pompes   | 682 177            | eq. Hab | 1                   | US \$ / eq.hab | 1.00        | -            | 682 177           | -                 |
| Préparation du terrain   | 1                  | -       | 0.50                | US \$ / m2     | 33 002      | 20 440       | 16 501            | 10 220            |
| <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b>   |                    |         |                     |                |             |              | <b>27 410 728</b> | <b>29 680 420</b> |
| <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>   |                    |         |                     |                |             |              |                   | <b>57 091 148</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

#### Alternative 2 - Lits bactériens avec décantation primaire

| Unité de traitement  | Unités spécifiques |         | Coûts spécifiques * |                | PHASE 1     | PHASE 2      | PHASE 1           | PHASE 2           |
|--|--------------------|---------|---------------------|----------------|-------------|--------------|-------------------|-------------------|
|  |                    |         |                     |                | Nb d'unités |              | COÛTS TOTAUX      |                   |
| (-)  | (-)                |         | (-)                 |                | (-)         | (addicional) | (US DOLLAR)       |                   |
| <b>File "Eau"</b>  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Prétraitement  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| <i>Fosse "piège à pierres", dégrillages grossier &amp; fin, dessableur / dégraisseur</i> | 682 177            | eq. Hab | 0.50                | US \$ / eq.hab | 1.00        | -            | 341 088           | -                 |
| Décanteurs primaires / intermédiaires  | 2 475              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 4.00        | 6.00         | 2 475 000         | 3 712 500.00      |
| Bassins de dénitrification   | 7 580              | m3      | 200                 | US \$ / m3     | -           | 6.00         |                   | 9 096 000.00      |
| Lits bactériens avec support plastique   | 4 939              | m3      | 280                 | US \$ / m3     | 6.00        | 2.00         | 8 297 520         | 2 765 840.00      |
| Décanteurs secondaires   | 3 372              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 4.00        | 2.00         | 3 372 000         | 1 686 000.00      |
| Chloration / Déchloration  | 682 177            | eq. Hab | 0.75                | US \$ / eq.hab | 1.00        | -            | 511 632           | -                 |
| <b>File "Boue"</b>   |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Epaississement boues prim. + secondaires   | 931                | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 4.00        | 4.00         | 372 400           | 372 400.00        |
| Digesteurs   | 7 362              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 3.00        | 2.00         | 5 521 500         | 3 681 000.00      |
| Bassin de stockage / épaissement   | 1 414              | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00        | 1.00         | 141 400           | 141 400.00        |
| Déshydratation des boues   | 1                  | ud      | 175 000             | US \$ / ud     | 1.00        |              | 175 000           | -                 |
| <b>Autres</b>  |                    |         |                     |                |             |              |                   |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.  | 682 177            | eq. Hab | 3                   | US \$ / eq.hab | 1.00        |              | 2 046 530         | -                 |
| Pompes   | 682 177            | eq. Hab | 1                   | US \$ / eq.hab | 1.00        |              | 682 177           | -                 |
| Préparation du terrain   | 1                  | m2      | 0.50                | US \$ / m2     | 24 694      | 31 036       | 12 347            | 15 518            |
| <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b>   |                    |         |                     |                |             |              | <b>23 948 594</b> | <b>21 470 658</b> |
| <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>   |                    |         |                     |                |             |              |                   | <b>45 419 252</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

### Alternative 3 - Lits bactériens avec fosse Imhoff

| Unité de traitement   | Unités spécifiques |         | Coûts spécifiques * |                | PHASE 1                              | PHASE 2     | PHASE 1           | PHASE 2           |
|---|--------------------|---------|---------------------|----------------|--------------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
|   | (-)                |         | (-)                 |                | Nb d'unités                          | (adicionel) | COÛTS TOTAUX      |                   |
|   | (-)                |         | (-)                 |                | (-)                                  | (adicionel) | (US DOLLAR)       |                   |
| <b>File "Eau"</b>   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Prétraitement   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Fosse "piège à pierres", dégrillages grossier & fin, dessableur / dégraisseur | 682 177            | eq. Hab | 0.50                | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 341 088           | -                 |
| Fosses Imhoff   | 4 740              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 6.00                                 |             | 7 110 000         | -                 |
| Bassins de dénitrification  | 7 580              | m3      | 200                 | US \$ / m3     |                                      | 6.00        | -                 | 9 096 000         |
| Décanteurs intermédiaires   | 2 475              | m3      | 250                 | US \$ / m3     |                                      | 10.00       | -                 | 6 187 500         |
| Lits bactériens avec support plastique  | 4 939              | m3      | 280                 | US \$ / m3     | 6.00                                 | 2.00        | 8 297 520         | 2 765 840         |
| Décanteurs secondaires  | 3 372              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 4.00                                 | 2.00        | 3 372 000         | 1 686 000         |
| Chloration / Déchloration   | 682 177            | eq. Hab | 0.75                | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 511 632           | -                 |
| <b>File "Boue"</b>  |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Épaississement boues prim. + secondaires                                      | 931                | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 2.00                                 | 6.00        | 186 200           | 558 600           |
| Digesteurs  | 7 362              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | -                                    | 5.00        | -                 | 9 202 500         |
| Bassin de stockage / épaississement   | 1 414              | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00                                 | 1.00        | 141 400           | 141 400           |
| Déshydratation des boues  | 1                  | ud      | 175 000             | US \$ / ud     | 1.00                                 |             | 175 000           | -                 |
| <b>Autres</b>   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.   | 682 177            | eq. Hab | 3                   | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 2 046 530         | -                 |
| Pompes  | 682 177            | eq. Hab | 1                   | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 682 177           | -                 |
| Préparation du terrain  | 1                  | m2      | 0.50                | US \$ / m2     | 24 847                               | 31 633      | 12 423            | 15 816            |
|   |                    |         |                     |                | <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b> |             | <b>22 875 970</b> | <b>29 653 656</b> |
|   |                    |         |                     |                | <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>       |             |                   | <b>52 529 627</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie

### Alternative 4 - Lits bactériens avec RAFA

| Unité de traitement   | Unités spécifiques |         | Coûts spécifiques * |                | PHASE 1                              | PHASE 2     | PHASE 1           | PHASE 2           |
|---|--------------------|---------|---------------------|----------------|--------------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
|   | (-)                |         | (-)                 |                | Nb d'unités                          | (adicionel) | COÛTS TOTAUX      |                   |
|   | (-)                |         | (-)                 |                | (-)                                  | (adicionel) | (US DOLLAR)       |                   |
| <b>File "Eau"</b>   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Prétraitement   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Fosse "piège à pierres", dégrillages grossier & fin, dessableur / dégraisseur | 682 177            | eq. Hab | 0.50                | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 341 088           | -                 |
| RAFA  | 2 671              | m3      | 200                 | US \$ / m3     | 10.00                                |             | 5 342 000         | -                 |
| Bassins de dénitrification  | 7 580              | m3      | 200                 | US \$ / m3     | -                                    | 6.00        | -                 | 9 096 000         |
| Décanteurs intermédiaires   | 2 671              | m3      | 250                 | US \$ / m3     |                                      | 12.00       | -                 | 8 013 000         |
| Lits bactériens avec support plastique  | 4 939              | m3      | 280                 | US \$ / m3     | 6.00                                 | 2.00        | 8 297 520         | 2 765 840         |
| Décanteurs secondaires  | 3 372              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | 4.00                                 | 2.00        | 3 372 000         | 1 686 000         |
| Chloration / Déchloration   | 682 177            | eq. Hab | 0.75                | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 511 632           | -                 |
| <b>File "Boue"</b>  |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Épaississement boues prim. + secondaires                                      | 931                | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00                                 | 5.00        | 93 100            | 465 500           |
| Digesteurs  | 7 362              | m3      | 250                 | US \$ / m3     | -                                    | 5.00        | -                 | 9 202 500         |
| Bassin de stockage / épaississement   | 1 414              | m3      | 100                 | US \$ / m3     | 1.00                                 | 1.00        | 141 400           | 141 400           |
| Déshydratation des boues  | 1                  | ud      | 175 000             | US \$ / ud     | 1.00                                 |             | 175 000           | -                 |
| <b>Autres</b>   |                    |         |                     |                |                                      |             |                   |                   |
| Bâtiments, chemin d'accès, etc.   | 682 177            | eq. Hab | 3                   | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 2 046 530         | -                 |
| Pompes  | 682 177            | eq. Hab | 1                   | US \$ / eq.hab | 1.00                                 |             | 682 177           | -                 |
| Préparation du terrain  | 1                  | m2      | 0.50                | US \$ / m2     | 24 310                               | 29 218      | 12 155            | 14 609            |
|   |                    |         |                     |                | <b>Coûts d'investissement TOTAUX</b> |             | <b>21 014 602</b> | <b>31 384 849</b> |
|   |                    |         |                     |                | <b>PHASE 1 + PHASE 2 TOTAL</b>       |             |                   | <b>52 399 451</b> |

\* selon la référence Wagner (2010) - Recommandations pour le choix des stations d'épuration des eaux usées adaptées à la Bolivie



**Coûts d'exploitation pour les alternatives de la STEU MOTACUSAL**

**Alternative 1 - Boues activées avec décantation primaire**

| Coûts d'exploitation STEU MOTACUSAL - Alternative 1 |                 |                 |                  |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| Personnel   |                 |                 |                  |
| Fonction  | Coût spécifique | Nombre          | Coût total       |
| (-)   | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)      |
| Chef de station                                     | 12 000          | 1               | 12 000           |
| Ing. Electricien                                    | 8 400           | 2               | 16 800           |
| Biologiste, Chimiste                                | 8 400           | 4               | 33 600           |
| Opérateur   | 4 200           | 4               | 16 800           |
| Main d'œuvre  | 3 000           | 3               | 9 000            |
| <b>TOTAL</b>  |                 |                 | <b>88 200</b>    |
| Electricité   |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Demande         | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 5 121 438       | 0.08            | 430 201          |
| Phase 2 - 2041                                      | 17 719 205      | 0.08            | 1 488 413        |
| Transport des boues et résidus                      |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Masse           | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 6 512           | 50              | 325 610          |
| Phase 2 - 2041                                      | 19 835          | 50              | 991 741          |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>844 011</b>   |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>2 568 355</b> |

**Alternative 2 - Lits bactériens avec décantation primaire**

| Coûts d'exploitation STEU MOTACUSAL - Alternative 2 |                 |                 |                  |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| Personnel   |                 |                 |                  |
| Fonction  | Coût spécifique | Nombre          | Coût total       |
| (-)   | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)      |
| Chef de station                                     | 12 000          | 1               | 12 000           |
| Ing. Electricien                                    | 8 400           | 2               | 16 800           |
| Biologiste, Chimiste                                | 8 400           | 3               | 25 200           |
| Opérateur   | 4 200           | 3               | 12 600           |
| Main d'œuvre  | 3 000           | 2               | 6 000            |
| <b>TOTAL</b>  |                 |                 | <b>72 600</b>    |
| Electricité   |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Demande         | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 4 297 069       | 0.08            | 360 954          |
| Phase 2 - 2041                                      | 10 395 426      | 0.08            | 873 216          |
| Transport des boues et résidus                      |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Masse           | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 7 118           | 50              | 355 891          |
| Phase 2 - 2041                                      | 13 043          | 50              | 652 140          |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>789 445</b>   |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>1 597 956</b> |

**Alternative 3 - Lits bactériens avec fosse Imhoff**

| Coûts d'exploitation STEU MOTACUSAL - Alternative 3 |                 |                 |                  |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| Personnel   |                 |                 |                  |
| Fonction  | Coût spécifique | Nombre          | Coût total       |
| (-)   | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)      |
| Chef de station                                     | 12 000.00       | 1.00            | 12 000           |
| Ing. Electricien                                    | 8 400.00        | 2.00            | 16 800           |
| Biologiste, Chimiste                                | 8 400.00        | 3.00            | 25 200           |
| Opérateur   | 4 200.00        | 3.00            | 12 600           |
| Main d'œuvre  | 3 000.00        | 2.00            | 6 000            |
| <b>TOTAL</b>  |                 |                 | <b>72 600</b>    |
| Electricité   |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Demande         | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 2 359 295       | 0.08            | 198 181          |
| Phase 2 - 2041                                      | 10 427 290      | 0.08            | 875 892          |
| Transport des boues et résidus                      |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Masse           | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 7 385           | 50              | 369 264          |
| Phase 2 - 2041                                      | 13 043          | 50              | 652 140          |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>640 045</b>   |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>1 600 633</b> |

**Alternative 4 - Lits bactériens avec RAFA**

| Coûts d'exploitation STEU MOTACUSAL - Alternative 4 |                 |                 |                  |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| Personnel   |                 |                 |                  |
| Fonction  | Coût spécifique | Nombre          | Coût total       |
| (-)   | (US\$ / an)     | (-)             | (US\$ / an)      |
| Chef de station                                     | 12 000.00       | 1.00            | 12 000           |
| Ing. Electricien                                    | 8 400.00        | 2.00            | 16 800           |
| Biologiste, Chimiste                                | 8 400.00        | 3.00            | 25 200           |
| Opérateur   | 4 200.00        | 3.00            | 12 600           |
| Main d'œuvre  | 3 000.00        | 2.00            | 6 000            |
| <b>TOTAL</b>  |                 |                 | <b>72 600</b>    |
| Electricité   |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Demande         | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (kWh / an)      | (US\$ / kWh)    | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 2 636 851       | 0.08            | 221 495          |
| Phase 2 - 2041                                      | 10 309 153      | 0.08            | 865 969          |
| Transport des boues et résidus                      |                 |                 |                  |
| Phase du projet                                     | Masse           | Coût spécifique | Coût total       |
|   | (tonne / an)    | (US\$ / tonne)  | (US\$ / an)      |
| Phase 1 - 2029                                      | 5 963           | 50              | 298 173          |
| Phase 2 - 2041                                      | 13 043          | 50              | 652 140          |
| TOTAL PHASE 1 - 2029 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>592 268</b>   |
| TOTAL PHASE 2 - 2041 (US \$ / an)                   |                 |                 | <b>1 590 709</b> |

# 6

## **ANNEXE 6: DETAILS DES CALCULS DANS LA MATRICE DE COMPARAI- SON**

## Evaluation alternatives STEU Este

## STEU Motacusal

| CRITERES       | Points max |                                      | ALTERNATIVE 1 |            | ALTERNATIVE 2 |            | ALTERNATIVE 3 |            | ALTERNATIVE 4 |            |
|----------------|------------|--------------------------------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
|                |            |                                      | Phase 1       | Phase 2    | Phase 1       | Phase 2    | Phase 1       | Phase 2    | Phase 1       | Phase 2    |
| C <sub>1</sub> |            | DBO <sub>5</sub>                     | 15            | 19         | 22            | 15         | 22            | 6          | 17            | 15         |
|                |            | SST                                  | 20            | 20         | 21            | 20         | 21            | 6          | 20            | 20         |
|                |            | NT                                   | 45            | 10         | 53            | 10         | 53            | 10         | 53            | 10         |
| C <sub>3</sub> |            | CF                                   | 3 500         | 3 500      | 3 500         | 3 500      | 3 500         | 3 500      | 3 500         | 3 500      |
| C <sub>2</sub> | 40         | Coûts d'invest. US\$                 | 27 410 728    | 29 680 420 | 23 948 594    | 21 470 658 | 22 875 970    | 29 653 656 | 21 014 602    | 31 384 849 |
|                |            |                                      | 31            | 29         | 35            | 40         | 37            | 29         | 40            | 27         |
| C <sub>4</sub> | 10         | Superficie requise (m <sup>2</sup> ) | 33 002        | 20 439     | 24 694        | 31 036     | 24 847        | 31 633     | 24 310        | 29 218     |
|                |            |                                      | 7             | 4          | 5             | 6          | 5             | 6          | 5             | 6          |
|                |            |                                      | 10            | 10         | 10            | 10         | 10            | 10         | 10            | 10         |
| C <sub>5</sub> | 20         | Production boues (t/an)              | 4 985         | 10 194     | 5 843         | 8 953      | 6 377         | 8 953      | 3 860         | 8 953      |
|                |            |                                      | 15            | 18         | 13            | 20         | 12            | 20         | 20            | 20         |
| C <sub>6</sub> | 20         | Energie US \$                        | 519 962       | 1 447 794  | 516 586       | 1 154 194  | 379 068       | 1 154 194  | 368 650       | 1 154 194  |
|                |            |                                      | 14            | 16         | 14            | 20         | 19            | 20         | 20            | 20         |
| C <sub>7</sub> | 10         | Nivel tecnolog.                      | 40            | 40         | 60            | 60         | 60            | 60         | 60            | 60         |
|                |            |                                      | 4             | 4          | 6             | 6          | 6             | 6          | 6             | 6          |
|                | <b>100</b> | <b>TOTAL</b>                         | <b>74</b>     | <b>76</b>  | <b>79</b>     | <b>96</b>  | <b>84</b>     | <b>85</b>  | <b>96</b>     | <b>83</b>  |

## Evaluation alternatives STEU Este

## STEU Este

| CRITERES       | Points max |                                      | ALTERNATIVE 1 |           | ALTERNATIVE 2 |            | ALTERNATIVE 3 |            |
|----------------|------------|--------------------------------------|---------------|-----------|---------------|------------|---------------|------------|
|                |            |                                      | Phase 1       | Phase 2   | Phase 1       | Phase 2    | Phase 1       | Phase 2    |
| C <sub>1</sub> |            | DBO <sub>5, mg/l</sub>               | 26            | 27        | 30            | 10         | 9             | 23         |
|                |            | SST, mg/l                            | 34            | 34        | 9             | 6          | 6             | 17         |
|                |            | NTK, mg/l                            | 22            | 22        | 23            | 8          | 30            | 2          |
| C <sub>3</sub> |            | CF, NMP/100 ml                       | 10            | 20        | 73            | 650        | 201           | 650        |
| C <sub>2</sub> | 40         | Coûts d'invest. (US\$)               | 7 963 917     | 127 080   | 9 818 377     | 39 759 060 | 14 669 951    | 27 604 800 |
|                |            |                                      | 40            | 40        | 32            | 0          | 22            | 0          |
| C <sub>4</sub> | 10         | Superficie requise (m <sup>2</sup> ) | 241 875       | 241 875   | 21 300        | 68 345     | 28 695        | 61 223     |
|                |            |                                      | 121           | 121       | 11            | 34         | 14            | 31         |
|                |            |                                      | 0             | 0         | 10            | 10         | 10            | 10         |
| C <sub>5</sub> | 20         | Production boues (t/an)              | 2 645         | 2 763     | 1 614         | 4 502      | 3 532         | 6 062      |
|                |            |                                      | 12            | 20        | 20            | 12         | 9             | 9          |
| C <sub>6</sub> | 20         | Energie (US \$)                      | 24 406        | 24 580    | 25 878        | 489 660    | 255 539       | 1 290 565  |
|                |            |                                      | 20            | 20        | 19            | 1          | 2             | 0          |
| C <sub>7</sub> | 10         | Nivel tecnolog.                      | 100           | 100       | 80            | 80         | 40            | 40         |
|                |            |                                      | 10            | 10        | 8             | 8          | 4             | 4          |
|                | <b>100</b> | <b>TOTAL</b>                         | <b>82</b>     | <b>90</b> | <b>89</b>     | <b>31</b>  | <b>47</b>     | <b>24</b>  |

# 7

## **ANNEXE 7: NOTE DE CALCUL DE LA LIGNE D'EAU – STEU MOTACUSAL**

| <b>Calculs hydrauliques</b>  |                    |                   |             |            |             |
|--|--------------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041                     |                    |                   |             |            |             |
| <b>Milieu naturel vers l'appareil de comptage (MID 2)</b>            |                    |                   | <b>Qmin</b> | <b>Qts</b> | <b>Qdim</b> |
| Niveau d'eau   | N                  | m.a.s.l.          | 100         | 100        | 100         |
| Débit total  | Q                  | l/s               | 326         | 814        | 1172        |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326       | 0.814      | 1.172       |
| Longueur   | L                  | m                 | 204.0       | 204.0      | 204.0       |
| Diamètre   | D                  | m                 | 1.2         | 1.2        | 1.2         |
| Coefficient de rugosité  | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0         | 1.0        | 1.0         |
| Viscosité cinématique  | v                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06    | 1.31E-06   | 1.31E-06    |
| Coefficient de pertes  |                    |                   |             |            |             |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50        | 0.5        | 0.5         |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 0.00        | 0.0        | 0.0         |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.20        | 0.2        | 0.2         |
| Total  | Σζ                 | -                 | 0.70        | 0.70       | 0.70        |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13        | 1.13       | 1.13        |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200        | 1200       | 1200        |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.29        | 0.72       | 1.04        |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 263 683     | 659 208    | 949 260     |
| Coeff. de frottements  | λ                  | -                 | 0.022       | 0.022      | 0.022       |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                      | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.019       | 0.117      | 0.243       |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.00      | 100.00     | 100.00      |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.02      | 100.12     | 100.24      |
| <b>Pertes de charge dans l'appareil (MID 2)</b>                      |                    |                   |             |            |             |
| Débit total  |                    | l/s               | 326         | 814        | 1 172       |
| Pertes de charge dans l'appareil                                     |                    | m                 | 0.005       | 0.005      | 0.005       |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.02      | 100.12     | 100.24      |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.02      | 100.12     | 100.25      |
| <b>MID 2 vers la chambre de collection des bassins de chloration</b> |                    |                   |             |            |             |
| Débit  | Q                  | l/s               | 326         | 814        | 1172        |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326       | 0.814      | 1.172       |
| Longueur   | L                  | m                 | 102.2       | 102.2      | 102.2       |
| Diamètre   | D                  | m                 | 1.2         | 1.2        | 1.2         |
| Coefficient de rugosité  | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0         | 1.0        | 1.0         |
| Viscosité cinématique  | v                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06    | 1.31E-06   | 1.31E-06    |
| Coefficient de pertes  |                    |                   |             |            |             |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50        | 0.5        | 0.5         |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00        | 1.0        | 1.0         |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40        | 0.4        | 0.4         |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90        | 1.90       | 1.90        |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13        | 1.13       | 1.13        |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200        | 1200       | 1200        |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.29        | 0.72       | 1.04        |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 263 683     | 659 208    | 949 260     |
| Coeff. de frottements  | λ                  | -                 | 0.020       | 0.020      | 0.020       |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                      | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.015       | 0.095      | 0.197       |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.02      | 100.12     | 100.25      |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.04      | 100.22     | 100.45      |
| <b>Pente du canal de sortie des bassins de chloration</b>            |                    |                   |             |            |             |
| Longueur   |                    | m                 | 1.50        | 1.50       | 1.50        |
| Hauteur additionnelle  |                    | m                 | 0.01        | 0.01       | 0.01        |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.04      | 100.22     | 100.45      |
| Niveau d'eau dans la chambre de distribution                         | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.05      | 100.22     | 100.45      |
| <b>Seuil des déversoirs des bassins de chloration</b>                |                    |                   |             |            |             |
| Débit total  | Q/3                | l/s               | 109         | 271        | 391         |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.109       | 0.271      | 0.391       |
| Forme A ou B (DIN 19558)   |                    |                   | A           | A          | A           |
| Longueur du seuil dentelé  | l                  | m                 | 2           | 2          | 2           |
| Distance entre les dents   | e                  | m                 | 0.15        | 0.15       | 0.15        |
| Nombre de dents  | n                  | -                 | 10          | 10         | 10          |
| Coeff. de réduction  | C                  | -                 | 1           | 1          | 1           |
| Coeff. du déversoir  | μ                  | -                 | 0.59        | 0.59       | 0.59        |
| Niveau crête du déversoir  | w <sub>hū</sub>    | m.a.s.l.          | 100.55      | 100.55     | 100.55      |
| Débit par dents  | q                  | l/s/dent          | 10.852      | 27.130     | 39.067      |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                                 | h <sub>ū</sub>     | m                 | 0.14        | 0.21       | 0.24        |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.05      | 100.22     | 100.45      |
| Hauteur d'eau dans le bassin de chloration                           | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.70      | 100.76     | 100.79      |
| <b>Pertes de charges dans les bassins de chloration (chicanes)</b>   |                    |                   |             |            |             |
| Débit  |                    | l/s               | 109         | 271        | 391         |
| Pertes de charges  |                    | m                 | 0.100       | 0.100      | 0.100       |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.70      | 100.76     | 100.79      |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.80      | 100.86     | 100.89      |

| Calculs hydrauliques  |                    |                   |          |          |          |
|---|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041                      |                    |                   |          |          |          |
| <b>Bassins de clarification vers la chambre de distribution (DC2)</b> |                    |                   |          |          |          |
|   | Q 2/3              |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 217      | 543      | 781      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.217    | 0.543    | 0.781    |
| Longueur  | L                  | m                 | 18.0     | 18.0     | 18.0     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.28     | 0.69     | 0.99     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 210 947  | 527 367  | 759 408  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                       | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.009    | 0.055    | 0.114    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.80   | 100.86   | 100.89   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 100.80   | 100.92   | 101.01   |
| <b>Seuil déversoir de la chambre de distribution (DC3)</b>            |                    |                   |          |          |          |
| Débit total   |                    | l/s               | 326      | 814      | 1 172    |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Forme A ou B (DIN 19558)  |                    |                   | A        | A        | A        |
| Longueur du seuil dentelé   | l                  | m                 | 18.85    | 18.85    | 18.85    |
| Distance entre les dents  | e                  | m                 | 0.15     | 0.15     | 0.15     |
| Nombre de dents   | n                  | -                 | 126      | 126      | 126      |
| Coeff. de réduction   | C                  | -                 | 1        | 1        | 1        |
| Coeff. du déversoir   | μ                  | -                 | 0.59     | 0.59     | 0.59     |
| Niveau crête du déversoir   | w <sub>hū</sub>    | m.a.s.l.          | 101.11   | 101.11   | 101.11   |
| Débit par dents   | q                  | l/s/dent          | 2.591    | 6.477    | 9.326    |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                                  | h <sub>ū</sub>     | m                 | 0.08     | 0.12     | 0.13     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                                   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 100.80   | 100.92   | 101.01   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                                   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.19   | 101.22   | 101.24   |
| <b>Chambre de distribution (DC3) vers décanteur final</b>             |                    |                   |          |          |          |
|   | Q 5/6              |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 271      | 678      | 977      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.271    | 0.678    | 0.977    |
| Longueur  | L                  | m                 | 17.0     | 17.0     | 17.0     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.20     | 1.20     | 1.20     |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.24     | 0.60     | 0.86     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 219 736  | 549 340  | 791 050  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                       | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.006    | 0.040    | 0.083    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.19   | 101.22   | 101.24   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.19   | 101.26   | 101.33   |
| <b>Chambre de distribution (DC3) vers décanteur final</b>             |                    |                   |          |          |          |
|   | Q 4/6              |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 217      | 543      | 781      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.217    | 0.543    | 0.781    |
| Longueur  | L                  | m                 | 40.0     | 40.0     | 40.0     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.28     | 0.69     | 0.99     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 210 947  | 527 367  | 759 408  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                       | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.011    | 0.066    | 0.136    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.19   | 101.26   | 101.33   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.20   | 101.33   | 101.46   |

| Calculs hydrauliques                                      |                    |                   |                  |                 |                 |
|---|--------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041          |                    |                   |                  |                 |                 |
| <b>Chambre de distribution (DC3) vers décanteur final</b> |                    | Q 3/6             |                  |                 |                 |
| Débit   | Q                  | l/s               | 163              | 407             | 586             |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.163            | 0.407           | 0.586           |
| Longueur  | L                  | m                 | 42.0             | 42.0            | 42.0            |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.00             | 1.00            | 1.00            |
| Coefficient de rugosité                                   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0              | 1.0             | 1.0             |
| Viscosité cinématique                                     | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06         | 1.31E-06        | 1.31E-06        |
| Coefficient de pertes                                     |                    |                   |                  |                 |                 |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50             | 0.5             | 0.5             |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00             | 1.0             | 1.0             |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40             | 0.4             | 0.4             |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90             | 1.90            | 1.90            |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79             | 0.79            | 0.79            |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000             | 1000            | 1000            |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.21             | 0.52            | 0.75            |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 158 210          | 395 525         | 569 556         |
| Coeff. de frottements                                     | λ                  | -                 | 0.020            | 0.020           | 0.020           |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                           | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.006            | 0.037           | 0.078           |
| Niveau d'eau en aval                                      | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.20           | 101.33          | 101.46          |
| Niveau d'eau en amont                                     | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.21           | 101.37          | 101.54          |
| <b>Chambre de distribution (DC3) vers décanteur final</b> |                    | Q 2/6             |                  |                 |                 |
| Débit   | Q                  | l/s               | 109              | 271             | 391             |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.109            | 0.271           | 0.391           |
| Longueur  | L                  | m                 | 42.0             | 42.0            | 42.0            |
| Diamètre  | D                  | m                 | 0.80             | 0.80            | 0.80            |
| Coefficient de rugosité                                   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0              | 1.0             | 1.0             |
| Viscosité cinématique                                     | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06         | 1.31E-06        | 1.31E-06        |
| Coefficient de pertes                                     |                    |                   |                  |                 |                 |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50             | 0.5             | 0.5             |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00             | 1.0             | 1.0             |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40             | 0.4             | 0.4             |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90             | 1.90            | 1.90            |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.50             | 0.50            | 0.50            |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 800              | 800             | 800             |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.22             | 0.54            | 0.78            |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 131 842          | 329 604         | 474 630         |
| Coeff. de frottements                                     | λ                  | -                 | 0.020            | 0.020           | 0.020           |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                           | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.007            | 0.044           | 0.091           |
| Niveau d'eau en aval                                      | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.21           | 101.37          | 101.54          |
| Niveau d'eau en amont                                     | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.22           | 101.41          | 101.63          |
| <b>Chambre de distribution (DC3) vers décanteur final</b> |                    | Q 1/6             | Q <sub>min</sub> | Q <sub>DW</sub> | Q <sub>Mh</sub> |
| Débit   | Q                  | l/s               | 54               | 136             | 195             |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.054            | 0.136           | 0.195           |
| Longueur  | L                  | m                 | 68.0             | 68.0            | 68.0            |
| Diamètre  | D                  | m                 | 0.60             | 0.60            | 0.60            |
| Coefficient de rugosité                                   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0              | 1.0             | 1.0             |
| Viscosité cinématique                                     | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06         | 1.31E-06        | 1.31E-06        |
| Coefficient de pertes                                     |                    |                   |                  |                 |                 |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50             | 0.5             | 0.5             |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00             | 1.0             | 1.0             |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40             | 0.4             | 0.4             |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90             | 1.90            | 1.90            |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.28             | 0.28            | 0.28            |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 600              | 600             | 600             |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.19             | 0.48            | 0.69            |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 87 894           | 219 736         | 316 420         |
| Coeff. de frottements                                     | λ                  | -                 | 0.020            | 0.020           | 0.020           |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                           | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.008            | 0.049           | 0.101           |
| Niveau d'eau en aval                                      | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.22           | 101.41          | 101.63          |
| Niveau d'eau en amont                                     | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.23           | 101.46          | 101.73          |
| <b>Pente canaux de sortie des décanteurs finaux</b>       |                    |                   |                  |                 |                 |
| Longueur  |                    | m                 | 53.41            | 53.41           | 53.41           |
| Hauteur additionnelle                                     |                    | m                 | 0.27             | 0.27            | 0.27            |
| Niveau d'eau aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.23           | 101.46          | 101.73          |
| Niveau d'eau au début du canal de sortie du décanteur     | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.49           | 101.73          | 102.00          |
| <b>Seuil des déversoirs des décanteurs finaux</b>         |                    | Q/6               |                  |                 |                 |
| Débit total   |                    | l/s               | 54               | 136             | 195             |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.054            | 0.136           | 0.195           |
| Forme A ou B (DIN 19558)                                  |                    |                   | A                | A               | A               |
| Longueur du seuil dentelé                                 | l                  | m                 | 107              | 107             | 107             |
| Distance entre les dents                                  | e                  | m                 | 0.15             | 0.15            | 0.15            |
| Nombre de dents   | n                  | -                 | 712              | 712             | 712             |
| Coeff. de réduction                                       | C                  | -                 | 1                | 1               | 1               |
| Coeff. du déversoir                                       | μ                  | -                 | 0.59             | 0.59            | 0.59            |
| Niveau crête du déversoir                                 | w <sub>hū</sub>    | m.a.s.l.          | 102.10           | 102.10          | 102.10          |
| Débit par dents   | q                  | l/s/dent          | 0.076            | 0.190           | 0.274           |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                      | h <sub>ū</sub>     | m                 | 0.02             | 0.03            | 0.03            |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                       | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.49           | 101.73          | 102.00          |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                       | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.12           | 102.13          | 102.13          |



| <b>Calculs hydrauliques</b>                                      |                    |                   |          |          |          |
|--|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041                 |                    |                   |          |          |          |
| <b>Décanteurs finaux vers station de pompage (recirculation)</b> |                    |                   |          |          |          |
| Q/6  |                    |                   |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 54       | 136      | 195      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.054    | 0.136    | 0.195    |
| Longueur   | L                  | m                 | 239.0    | 239.0    | 239.0    |
| Diamètre   | D                  | m                 | 0.60     | 0.60     | 0.60     |
| Coefficient de rugosité  | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique  | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes  |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 600      | 600      | 600      |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.19     | 0.48     | 0.69     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 87 894   | 219 736  | 316 420  |
| Coeff. de frottements  | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                  | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.019    | 0.116    | 0.240    |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.12   | 102.13   | 102.13   |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.14   | 102.24   | 102.37   |
| <b>Seuil des déversoir station de pompage recirculation</b>      |                    |                   |          |          |          |
| Débit total  |                    | l/s               | 326      | 814      | 1 172    |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Forme A ou B (DIN 19558)   |                    |                   | A        | A        | A        |
| Longueur du seuil dentelé  | l                  | m                 | 25.00    | 25.00    | 25.00    |
| Distance entre les dents   | e                  | m                 | 0.15     | 0.15     | 0.15     |
| Nombre de dents  | n                  | -                 | 167      | 167      | 167      |
| Coeff. de réduction  | C                  | -                 | 1        | 1        | 1        |
| Coeff. du déversoir  | μ                  | -                 | 0.59     | 0.59     | 0.59     |
| Niveau crête du déversoir  | w <sub>hū</sub>    | m.a.s.l.          | 102.47   | 102.47   | 102.47   |
| Débit par dents  | q                  | l/s/dent          | 1.953    | 4.883    | 7.032    |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                             | h <sub>ū</sub>     | m                 | 0.07     | 0.10     | 0.12     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                              | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.14   | 102.24   | 102.37   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                              | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.54   | 102.57   | 102.59   |
| <b>Station de pompage de recirculation vers lits bact.</b>       |                    |                   |          |          |          |
| Q 5/6  |                    |                   |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 271      | 678      | 977      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.271    | 0.678    | 0.977    |
| Longueur   | L                  | m                 | 29.0     | 29.0     | 29.0     |
| Diamètre   | D                  | m                 | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité  | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique  | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes  |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.24     | 0.60     | 0.86     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 219 736  | 549 340  | 791 050  |
| Coeff. de frottements  | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                  | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.007    | 0.044    | 0.091    |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.54   | 102.57   | 102.59   |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.55   | 102.62   | 102.68   |
| <b>Station de pompage de recirculation vers lits bact.</b>       |                    |                   |          |          |          |
| Q 4/6  |                    |                   |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 217      | 543      | 781      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.217    | 0.543    | 0.781    |
| Longueur   | L                  | m                 | 44.0     | 44.0     | 44.0     |
| Diamètre   | D                  | m                 | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Coefficient de rugosité  | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique  | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes  |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.28     | 0.69     | 0.99     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 210 947  | 527 367  | 759 408  |
| Coeff. de frottements  | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                                  | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.011    | 0.068    | 0.140    |
| Niveau d'eau en aval   | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.55   | 102.62   | 102.68   |
| Niveau d'eau en amont  | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.56   | 102.69   | 102.82   |

| <b>Calculs hydrauliques</b>                                |                    |                   |          |          |          |
|--|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041           |                    |                   |          |          |          |
| <b>Station de pompage de recirculation vers lits bact.</b> |                    | Q 3/6             |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 163      | 407      | 586      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.163    | 0.407    | 0.586    |
| Longueur   | L                  | m                 | 42.0     | 42.0     | 42.0     |
| Diamètre   | D                  | m                 | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Coefficient de rugosité                                    | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                      | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                      |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.21     | 0.52     | 0.75     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 158 210  | 395 525  | 569 556  |
| Coeff. de frottements                                      | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                            | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.006    | 0.037    | 0.078    |
| Niveau d'eau en aval                                       | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.56   | 102.69   | 102.82   |
| Niveau d'eau en amont                                      | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.57   | 102.72   | 102.90   |
| <b>Station de pompage de recirculation vers lits bact.</b> |                    | Q 2/6             |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 109      | 271      | 391      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.109    | 0.271    | 0.391    |
| Longueur   | L                  | m                 | 42.0     | 42.0     | 42.0     |
| Diamètre   | D                  | m                 | 0.8      | 0.8      | 0.8      |
| Coefficient de rugosité                                    | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                      | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                      |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.50     | 0.50     | 0.50     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 800      | 800      | 800      |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.22     | 0.54     | 0.78     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 131 842  | 329 604  | 474 630  |
| Coeff. de frottements                                      | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                            | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.007    | 0.044    | 0.091    |
| Niveau d'eau en aval                                       | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.57   | 102.72   | 102.90   |
| Niveau d'eau en amont                                      | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.57   | 102.77   | 102.99   |
| <b>Station de pompage de recirculation vers lits bact.</b> |                    | Q 1/6             |          |          |          |
| Débit  | Q                  | l/s               | 54       | 136      | 195      |
|  |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.054    | 0.136    | 0.195    |
| Longueur   | L                  | m                 | 64.0     | 64.0     | 64.0     |
| Diamètre   | D                  | m                 | 0.6      | 0.6      | 0.6      |
| Coefficient de rugosité                                    | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                      | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                      |                    |                   |          |          |          |
| Entrée   | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie   | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres   | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total  | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section  | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Rugosité relative  | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 600      | 600      | 600      |
| Vitesse  | v                  | m/s               | 0.19     | 0.48     | 0.69     |
| Nb de Reynolds   | Re                 | -                 | 87 894   | 219 736  | 316 420  |
| Coeff. de frottements                                      | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                            | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.008    | 0.047    | 0.098    |
| Niveau d'eau en aval                                       | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.57   | 102.77   | 102.99   |
| Niveau d'eau en amont                                      | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.58   | 102.81   | 103.09   |

| <b>Calculs hydrauliques</b>                             |                    |                   |          |          |          |
|---|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041        |                    |                   |          |          |          |
| <b>Lits bact. vers station de pompage intermédiaire</b> |                    | Q 1/6             |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 54       | 136      | 195      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.054    | 0.136    | 0.195    |
| Longueur  | L                  | m                 | 248.0    | 248.0    | 248.0    |
| Diamètre  | D                  | m                 | 0.6      | 0.6      | 0.6      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 600      | 600      | 600      |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.19     | 0.48     | 0.69     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 87 894   | 219 736  | 316 420  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.019    | 0.119    | 0.247    |
| Niveau de l'eau dans les lits bactériens                | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.58   | 102.81   | 103.09   |
| Hauteur du sprinckler                                   |                    | m.a.s.l.          | 110.40   | 110.73   | 111.14   |
| Niveau d'eau dans la station de pompage (théorique)     | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 111.90   | 112.23   | 112.64   |
| Niveau d'eau dans le sprinckler                         | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 110.40   | 110.73   | 111.14   |
| Hauteur de pompage retenue                              |                    |                   | 10.90    | 11.23    | 11.64    |
| Niveau d'eau dans station de pompage                    | N <sub>amont</sub> |                   | 101      | 101      | 101      |
| <b>Station de pompage intermédiaire vers RAFA</b>       |                    | Q 8/8             |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 326      | 814      | 1172     |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Longueur  | L                  | m                 | 17.6     | 17.6     | 17.6     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.20     | 0.2      | 0.2      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 263 683  | 659 208  | 949 260  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                  | -                 | 0.024    | 0.024    | 0.024    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.009    | 0.054    | 0.112    |
| Niveau d'eau en aval                                    | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.00   | 101.00   | 101.00   |
| Niveau d'eau en amont                                   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.01   | 101.05   | 101.11   |
| <b>Station de pompage intermédiaire vers RAFA</b>       |                    | Q 6/8             |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 244      | 610      | 879      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.244    | 0.610    | 0.879    |
| Longueur  | L                  | m                 | 36.0     | 36.0     | 36.0     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.20     | 0.2      | 0.2      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.22     | 0.54     | 0.78     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 197 762  | 494 406  | 711 945  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                  | -                 | 0.024    | 0.024    | 0.024    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.006    | 0.036    | 0.075    |
| Niveau d'eau en aval                                    | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.01   | 101.05   | 101.11   |
| Niveau d'eau en amont                                   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 101.01   | 101.09   | 101.19   |

| <b>Calculs hydrauliques</b>                             |                                       |                   |          |          |          |
|---|---------------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041        |                                       |                   |          |          |          |
| <b>Station de pompage intermédiaire vers RAFA</b> Q 4/8 |                                       |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                                     | l/s               | 163      | 407      | 586      |
|   |                                       | m <sup>3</sup> /s | 0.163    | 0.407    | 0.586    |
| Longueur  | L                                     | m                 | 37.0     | 37.0     | 37.0     |
| Diamètre  | D                                     | m                 | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>                        | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                                     | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                                       |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>                        | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>                        | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>                        | -                 | 0.20     | 0.2      | 0.2      |
| Total   | Σζ                                    | -                 | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Section   | A                                     | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>                      | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse   | v                                     | m/s               | 0.21     | 0.52     | 0.75     |
| Nb de Reynolds  | Re                                    | -                 | 158 210  | 395 525  | 569 556  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                                     | -                 | 0.024    | 0.024    | 0.024    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>                        | m                 | 0.006    | 0.035    | 0.073    |
| Niveau d'eau en aval                                    | N <sub>aval</sub>                     | m.a.s.l.          | 101.01   | 101.09   | 101.19   |
| Niveau d'eau en amont                                   | N <sub>amont</sub>                    | m.a.s.l.          | 101.02   | 101.13   | 101.26   |
| <b>Station de pompage intermédiaire vers RAFA</b> Q 2/8 |                                       |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                                     | l/s               | 81       | 203      | 293      |
|   |                                       | m <sup>3</sup> /s | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Longueur  | L                                     | m                 | 37.0     | 37.0     | 37.0     |
| Diamètre  | D                                     | m                 | 0.6      | 0.6      | 0.6      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>                        | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                                     | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                                       |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>                        | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>                        | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>                        | -                 | 0.20     | 0.2      | 0.2      |
| Total   | Σζ                                    | -                 | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Section   | A                                     | m <sup>2</sup>    | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>                      | -                 | 600      | 600      | 600      |
| Vitesse   | v                                     | m/s               | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds  | Re                                    | -                 | 131 842  | 329 604  | 474 630  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                                     | -                 | 0.024    | 0.024    | 0.024    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>                        | m                 | 0.013    | 0.084    | 0.174    |
| Niveau d'eau en aval                                    | N <sub>aval</sub>                     | m.a.s.l.          | 101.02   | 101.13   | 101.26   |
| Niveau d'eau en amont                                   | N <sub>amont</sub>                    | m.a.s.l.          | 101.03   | 101.21   | 101.43   |
| <b>Pente canaux effluents RAFA</b>                      |                                       |                   |          |          |          |
|   |                                       | -                 | 0.01     | 0.01     | 0.01     |
| Longueur  |                                       | m                 | 58.00    | 58.00    | 58.00    |
| Hauteur additionnelle                                   |                                       | m                 | 0.29     | 0.29     | 0.29     |
| Niveau d'eau aval                                       | N <sub>aval</sub>                     | m.a.s.l.          | 101.03   | 101.21   | 101.43   |
| Niveau d'eau au début du canal de sortie du décanteur   | N <sub>amont</sub>                    | m.a.s.l.          | 101.32   | 101.50   | 101.72   |
| <b>Seuils déversoirs RAFA</b>                           |                                       |                   |          |          |          |
| Débit total   | Q                                     | l/s               | 81       | 203      | 293      |
|   | Q                                     | m <sup>3</sup> /s | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Forme A ou B (DIN 19558)                                | n                                     | -                 | 15       | 15       | 15       |
| Longueur du seuil dentelé                               | l <sub>s</sub>                        | m                 | 58.00    | 58.00    | 58.00    |
| Distance entre les dents                                | μ                                     | -                 | 0.64     | 0.64     | 0.64     |
| Nombre de dents   | N <sub>d</sub>                        | m.a.s.l.          | 101.82   | 101.82   | 101.82   |
| Coeff. de réduction                                     | Q <sub>n</sub>                        | m <sup>3</sup> /s | 0.005    | 0.014    | 0.020    |
| Coeff. du déversoir                                     | h <sub>aval</sub>                     | m                 | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Niveau crête du déversoir                               | h <sub>aval</sub> /h <sub>amont</sub> | -                 | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Débit par dents   | c                                     | -                 | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                    | h <sub>d</sub>                        | m                 | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                     | N <sub>aval</sub>                     | m.a.s.l.          | 101.32   | 101.50   | 101.72   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                     | N <sub>amont</sub>                    | m.a.s.l.          | 101.83   | 101.83   | 101.83   |
| <b>RAFA vers chambre de distribution (DC2)</b> Q 2/8    |                                       |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                                     | l/s               | 81       | 203      | 293      |
|   |                                       | m <sup>3</sup> /s | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Longueur  | L                                     | m                 | 70.0     | 70.0     | 70.0     |
| Diamètre  | D                                     | m                 | 0.6      | 0.6      | 0.6      |
| Coefficient de rugosité                                 | k <sub>b</sub>                        | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                                   | ν                                     | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                                   |                                       |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>                        | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>                        | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>                        | -                 | 0.20     | 0.2      | 0.2      |
| Total   | Σζ                                    | -                 | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Section   | A                                     | m <sup>2</sup>    | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Rugosité relative                                       | D/k <sub>b</sub>                      | -                 | 600      | 600      | 600      |
| Vitesse   | v                                     | m/s               | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds  | Re                                    | -                 | 131 842  | 329 604  | 474 630  |
| Coeff. de frottements                                   | λ                                     | -                 | 0.024    | 0.024    | 0.024    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)                         | h <sub>p</sub>                        | m                 | 0.019    | 0.119    | 0.246    |
| Niveau d'eau en aval                                    | N <sub>aval</sub>                     | m.a.s.l.          | 101.83   | 101.83   | 101.83   |
| Niveau d'eau en amont                                   | N <sub>amont</sub>                    | m.a.s.l.          | 101.84   | 101.95   | 102.07   |

| <b>Calculs hydrauliques</b>   |                    |                   |          |          |          |
|---|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041                          |                    |                   |          |          |          |
| <b>Seuil déversoir de la chambre de distribution (DC2)</b>                |                    |                   |          |          |          |
| Débit total   |                    | l/s               | 326      | 814      | 1 172    |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Forme A ou B (DIN 19558)  |                    |                   | A        | A        | A        |
| Longueur du seuil dentelé   | l                  | m                 | 18.85    | 18.85    | 18.85    |
| Distance entre les dents  | e                  | m                 | 0.15     | 0.15     | 0.15     |
| Nombre de dents   | n                  | -                 | 126      | 126      | 126      |
| Coeff. de réduction   | C                  | -                 | 1        | 1        | 1        |
| Coeff. du déversoir   | μ                  | -                 | 0.59     | 0.59     | 0.59     |
| Niveau crête du déversoir   | w <sub>hū</sub>    | m.a.s.l.          | 102.17   | 102.17   | 102.17   |
| Débit par dents   | q                  | l/s/dent          | 2.591    | 6.477    | 9.326    |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                                      | h <sub>ū</sub>     | m                 | 0.08     | 0.12     | 0.13     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                                       | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 101.84   | 101.95   | 102.07   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                                       | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.25   | 102.29   | 102.31   |
| <b>Chambre de distribution DC 2 vers bassins de dénitrification Q 3/4</b> |                    |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 326      | 814      | 1172     |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Longueur  | L                  | m                 | 2.0      | 2.0      | 2.0      |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | v                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 263 683  | 659 208  | 949 260  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)   | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.008    | 0.051    | 0.106    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.25   | 102.29   | 102.31   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.26   | 102.34   | 102.41   |
| <b>Chambre de distribution DC 2 vers bassins de dénitrification Q 2/4</b> |                    |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 163      | 407      | 586      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.163    | 0.407    | 0.586    |
| Longueur  | L                  | m                 | 65.3     | 65.3     | 65.3     |
| Diamètre  | D                  | m                 | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | v                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.79     | 0.79     | 0.79     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 1000     | 1000     | 1000     |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.21     | 0.52     | 0.75     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 158 210  | 395 525  | 569 556  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)   | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.007    | 0.044    | 0.091    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.26   | 102.34   | 102.41   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.27   | 102.39   | 102.51   |
| <b>Chambre de distribution DC 2 vers bassins de dénitrification Q 1/4</b> |                    |                   |          |          |          |
| Débit   | Q                  | l/s               | 81       | 203      | 293      |
|   |                    | m <sup>3</sup> /s | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Longueur  | L                  | m                 | 108.3    | 108.3    | 108.3    |
| Diamètre  | D                  | m                 | 0.8      | 0.8      | 0.8      |
| Coefficient de rugosité   | k <sub>b</sub>     | mm                | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | v                  | m <sup>2</sup> /s | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                    |                   |          |          |          |
| Entrée  | ζ <sub>e</sub>     | -                 | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | ζ <sub>a</sub>     | -                 | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | ζ <sub>s</sub>     | -                 | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | Σζ                 | -                 | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                  | m <sup>2</sup>    | 0.50     | 0.50     | 0.50     |
| Rugosité relative   | D/k <sub>b</sub>   | -                 | 800      | 800      | 800      |
| Vitesse   | v                  | m/s               | 0.16     | 0.40     | 0.58     |
| Nb de Reynolds  | Re                 | -                 | 98 881   | 247 203  | 355 972  |
| Coeff. de frottements   | λ                  | -                 | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression (=Δh)   | h <sub>p</sub>     | m                 | 0.006    | 0.038    | 0.080    |
| Niveau d'eau en aval  | N <sub>aval</sub>  | m.a.s.l.          | 102.27   | 102.39   | 102.51   |
| Niveau d'eau en amont   | N <sub>amont</sub> | m.a.s.l.          | 102.28   | 102.42   | 102.59   |



| <b>Calculs hydrauliques</b>   |                |          |          |          |          |
|---|----------------|----------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041                    |                |          |          |          |          |
| <b>Pente canal de sortie de l'effluent</b>                          |                |          |          |          |          |
|   |                | -        | 0.01     | 0.01     | 0.01     |
| Longueur  |                | m        | 45.55    | 45.55    | 45.55    |
| Hauteur additionnelle   |                | m        | 0.23     | 0.23     | 0.23     |
| Niveau d'eau aval   | $N_{aval}$     | m.a.s.l. | 102.28   | 102.42   | 102.59   |
| Niveau d'eau au début du canal de sortie du décanteur               | $N_{amont}$    | m.a.s.l. | 102.50   | 102.65   | 102.81   |
| <b>Seuil déversoir bassins de dénitrification</b>                   |                |          |          |          |          |
| Débit total   |                | l/s      | 81       | 203      | 293      |
|   |                | $m^3/s$  | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Forme A ou B (DIN 19558)  |                |          | A        | A        | A        |
| Longueur du seuil dentelé   | $l$            | m        | 91       | 91       | 91       |
| Distance entre les dents  | $e$            | m        | 0.15     | 0.15     | 0.15     |
| Nombre de dents   | $n$            | -        | 607      | 607      | 607      |
| Coeff. de réduction   | $C$            | -        | 1        | 1        | 1        |
| Coeff. du déversoir   | $\mu$          | -        | 0.59     | 0.59     | 0.59     |
| Niveau crête du déversoir   | $w_{h\bar{u}}$ | m.a.s.l. | 102.91   | 102.91   | 102.91   |
| Débit par dents   | $q$            | l/s/dent | 0.134    | 0.335    | 0.482    |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                                | $h_{\bar{u}}$  | m        | 0.02     | 0.04     | 0.04     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                                 | $N_{aval}$     | m.a.s.l. | 102.50   | 102.65   | 102.81   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                                 | $N_{amont}$    | m.a.s.l. | 102.94   | 102.95   | 102.95   |
| <b>Bassins de dénitrification vers chambre de distribution DC 1</b> |                |          |          |          |          |
| Débit   | $Q$            | l/s      | 81       | 203      | 293      |
|   |                | $m^3/s$  | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Longueur  | $L$            | m        | 222.1    | 222.1    | 222.1    |
| Diamètre  | $D$            | m        | 0.8      | 0.8      | 0.8      |
| Coefficient de rugosité   | $k_b$          | mm       | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | $\nu$          | $m^2/s$  | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                |          |          |          |          |
| Entrée  | $\zeta_e$      | -        | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | $\zeta_a$      | -        | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | $\zeta_s$      | -        | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | $\Sigma\zeta$  | -        | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | $A$            | $m^2$    | 0.50     | 0.50     | 0.50     |
| Rugosité relative   | $D/k_b$        | -        | 800      | 800      | 800      |
| Vitesse   | $v$            | m/s      | 0.16     | 0.40     | 0.58     |
| Nb de Reynolds  | $Re$           | -        | 98 881   | 247 203  | 355 972  |
| Coeff. de frottements   | $\lambda$      | -        | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression ( $=\Delta h$ )                           | $h_p$          | m        | 0.010    | 0.062    | 0.129    |
| Niveau d'eau en aval  | $N_{aval}$     | m.a.s.l. | 102.94   | 102.95   | 102.95   |
| Niveau d'eau en amont   | $N_{amont}$    | m.a.s.l. | 102.95   | 103.01   | 103.08   |
| <b>Seuil déversoir chambre de distribution 1 (DC1)</b>              |                |          |          |          |          |
| Débit total   |                | l/s      | 326      | 814      | 1 172    |
|   |                | $m^3/s$  | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Forme A ou B (DIN 19558)  |                |          | A        | A        | A        |
| Longueur du seuil dentelé   | $l$            | m        | 18.85    | 18.85    | 18.85    |
| Distance entre les dents  | $e$            | m        | 0.15     | 0.15     | 0.15     |
| Nombre de dents   | $n$            | -        | 126      | 126      | 126      |
| Coeff. de réduction   | $C$            | -        | 1        | 1        | 1        |
| Coeff. du déversoir   | $\mu$          | -        | 0.59     | 0.59     | 0.59     |
| Niveau crête du déversoir   | $w_{h\bar{u}}$ | m.a.s.l. | 103.18   | 103.18   | 103.18   |
| Débit par dents   | $q$            | l/s/dent | 2.591    | 6.477    | 9.326    |
| Hauteur d'eau au dessus du déversoir                                | $h_{\bar{u}}$  | m        | 0.08     | 0.12     | 0.13     |
| Niveau d'eau compartiment extérieur                                 | $N_{aval}$     | m.a.s.l. | 102.95   | 103.01   | 103.08   |
| Niveau d'eau compartiment intérieur                                 | $N_{amont}$    | m.a.s.l. | 103.26   | 103.30   | 103.32   |
| <b>Chambre de distribution 1 (DC 1) vers MID 1</b>                  |                |          |          |          |          |
| Débit   | $Q$            | l/s      | 326      | 814      | 1172     |
|   |                | $m^3/s$  | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Longueur  | $L$            | m        | 18.3     | 18.3     | 18.3     |
| Diamètre  | $D$            | m        | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité   | $k_b$          | mm       | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique   | $\nu$          | $m^2/s$  | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes   |                |          |          |          |          |
| Entrée  | $\zeta_e$      | -        | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | $\zeta_a$      | -        | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | $\zeta_s$      | -        | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | $\Sigma\zeta$  | -        | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | $A$            | $m^2$    | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative   | $D/k_b$        | -        | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | $v$            | m/s      | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds  | $Re$           | -        | 263 683  | 659 208  | 949 260  |
| Coeff. de frottements   | $\lambda$      | -        | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression ( $=\Delta h$ )                           | $h_p$          | m        | 0.009    | 0.058    | 0.121    |
| Niveau d'eau en aval  | $N_{aval}$     | m.a.s.l. | 103.26   | 103.30   | 103.32   |
| Niveau d'eau en amont   | $N_{amont}$    | m.a.s.l. | 103.27   | 103.36   | 103.44   |

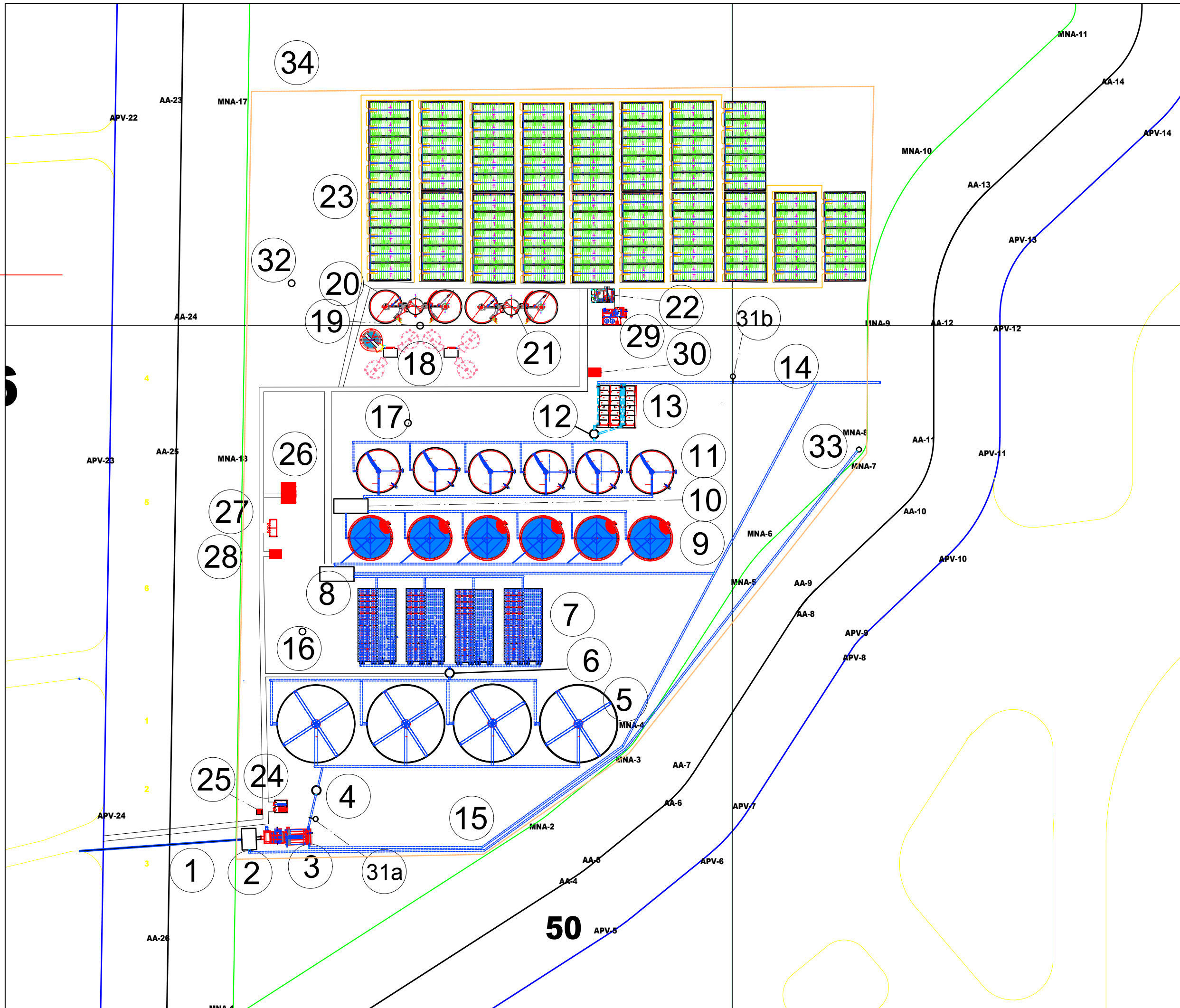
| <b>Calculs hydrauliques</b>                         |                                    |                         |          |          |          |
|---|------------------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041    |                                    |                         |          |          |          |
| <b>Pertes de charges dans le MID 1</b>              |                                    |                         |          |          |          |
| Débit   |                                    | l/s                     | 326      | 814      | 1 172    |
| Pertes de charges dans le MID 1                     |                                    | m                       | 0.050    | 0.050    | 0.050    |
| Niveau d'eau en aval                                | $N_{\text{aval}}$                  | m.a.s.l.                | 103.27   | 103.36   | 103.44   |
| Niveau d'eau en amont                               | $N_{\text{amont}}$                 | m.a.s.l.                | 103.32   | 103.41   | 103.49   |
| <b>MID 1 vers déssableur/dégraisseur</b>            |                                    |                         |          |          |          |
| Débit   | Q                                  | l/s                     | 326      | 814      | 1172     |
|   |                                    | $\text{m}^3/\text{s}$   | 0.326    | 0.814    | 1.172    |
| Longueur  | L                                  | m                       | 8.5      | 8.5      | 8.5      |
| Diamètre  | D                                  | m                       | 1.2      | 1.2      | 1.2      |
| Coefficient de rugosité                             | $k_b$                              | mm                      | 1.0      | 1.0      | 1.0      |
| Viscosité cinématique                               | $\nu$                              | $\text{m}^2/\text{s}$   | 1.31E-06 | 1.31E-06 | 1.31E-06 |
| Coefficient de pertes                               |                                    |                         |          |          |          |
| Entrée  | $\zeta_e$                          | -                       | 0.50     | 0.5      | 0.5      |
| Sortie  | $\zeta_a$                          | -                       | 1.00     | 1.0      | 1.0      |
| Autres  | $\zeta_s$                          | -                       | 0.40     | 0.4      | 0.4      |
| Total   | $\Sigma \zeta$                     | -                       | 1.90     | 1.90     | 1.90     |
| Section   | A                                  | $\text{m}^2$            | 1.13     | 1.13     | 1.13     |
| Rugosité relative                                   | $D/k_b$                            | -                       | 1200     | 1200     | 1200     |
| Vitesse   | v                                  | m/s                     | 0.29     | 0.72     | 1.04     |
| Nb de Reynolds                                      | Re                                 | -                       | 263 683  | 659 208  | 949 260  |
| Coeff. de frottements                               | $\lambda$                          | -                       | 0.020    | 0.020    | 0.020    |
| Hauteur chute de pression ( $=\Delta h$ )           | $h_p$                              | m                       | 0.009    | 0.054    | 0.112    |
| Niveau d'eau en aval                                | $N_{\text{aval}}$                  | m.a.s.l.                | 103.32   | 103.41   | 103.49   |
| Niveau d'eau en amont                               | $N_{\text{amont}}$                 | m.a.s.l.                | 103.33   | 103.46   | 103.60   |
| <b>Raccordement canaux à dessableur/dégraisseur</b> |                                    |                         |          |          |          |
| Débit eaux usées                                    |                                    | $\text{m}^3/\text{h}$   | 1172     | 2930     | 4219     |
| Débit total   |                                    | $\text{m}^3/\text{h}$   | 1172     | 2930     | 4219     |
| Nb de canaux  |                                    |                         | 3        | 3        | 3        |
| Débit par canaux                                    |                                    | $\text{m}^3/\text{h}$   | 390.67   | 976.67   | 1 406.40 |
|   |                                    | $\text{m}^3/\text{s}$   | 0.109    | 0.271    | 0.391    |
| Coeff. Strickler                                    |                                    |                         | 60       | 60       | 60       |
| Largeur inférieure                                  |                                    |                         | 1.80     | 1.80     | 1.80     |
| Hauteur   |                                    |                         | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Hedge width n                                       |                                    |                         | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| res. width  |                                    |                         | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Niveau d'eau  |                                    |                         | 0.40     | 0.40     | 0.40     |
| Coupe transversale 1                                |                                    | $\text{m}^2$            | 0.72     | 0.72     | 0.72     |
| Coupe transversale 2                                |                                    | $\text{m}^2$            | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Coupe transversale                                  |                                    | $\text{m}^2$            | 0.72     | 0.72     | 0.72     |
| Périmètre mouillé 1                                 |                                    | m                       | 1.80     | 1.80     | 1.80     |
| Périmètre mouillé 2                                 |                                    | m                       | 0.80     | 0.80     | 0.80     |
| Périmètre mouillé                                   |                                    | m                       | 2.60     | 2.60     | 2.60     |
| Rayon hydraulique                                   |                                    | m                       | 0.28     | 0.28     | 0.28     |
| Gradient  |                                    |                         | 0.0018%  | 0.03%    | 0.19%    |
| Pente   |                                    |                         | 0.00%    | 0.03%    | 0.19%    |
|   |                                    | m / s                   | 0.11     | 0.46     | 1.10     |
|   |                                    | $\text{m}^3 / \text{h}$ | 278.11   | 1 189.30 | 2 844.47 |
|   |                                    | l / s                   | 77.25    | 330.36   | 790.13   |
| Longueur tronçon                                    | l                                  | m                       | 2.00     | 2.00     | 2.00     |
| Pertes de charge energie                            |                                    | m                       | 0        | 0        | 0        |
| Différence hauteur dans le canal                    |                                    | m                       | 0        | 0        | 0        |
| Niveau d'eau aval                                   | $N_{\text{aval}}$                  | m.a.s.l.                | 103.33   | 103.46   | 103.60   |
| Niveau d'eau amont                                  | $N_{\text{amont}}$                 | m.a.s.l.                | 103.33   | 103.46   | 103.60   |
| <b>Déversoir dessableur / dégraisseur</b>           |                                    |                         |          |          |          |
| Débit   | Q                                  | l/s                     | 163      | 407      | 586      |
|   | Q                                  | $\text{m}^3/\text{s}$   | 0.163    | 0.407    | 0.586    |
| Nb de déversoirs                                    | n                                  | -                       | 2        | 2        | 2        |
| Largeur de seuil                                    | $l_s$                              | m                       | 2.00     | 2.00     | 2.00     |
| Coeff. déversoir                                    | $\mu$                              | -                       | 0.64     | 0.64     | 0.64     |
| Crête de déversoir                                  | $N_d$                              | m.a.s.l.                | 103.70   | 103.70   | 103.70   |
| Seuil de débit                                      | $Q_n$                              | $\text{m}^3/\text{s}$   | 0.081    | 0.203    | 0.293    |
| Level tub   | $h_{\text{aval}}$                  | m                       | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Niveau d'eau aval / Niveau d'eau amont              | $h_{\text{aval}}/h_{\text{amont}}$ | -                       | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Coefficient de réduction                            | c                                  | -                       | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Hauteur de nappe                                    | $h_d$                              | m                       | 0.08     | 0.14     | 0.18     |
| Hauteur d'eau aval                                  | $N_{\text{aval}}$                  | m.a.s.l.                | 103.33   | 103.46   | 103.60   |
| Hauteur d'eau amont                                 | $N_{\text{amont}}$                 | m.a.s.l.                | 103.78   | 103.84   | 103.88   |
| <b>Pertes de charges Dessableur / Dégraisseur</b>   |                                    |                         |          |          |          |
| Débit   |                                    | l/s                     | 54       | 136      | 195      |
| Pertes de charges dans déssableur / dégraisseur     |                                    | m                       | 0.050    | 0.050    | 0.050    |
| Niveau d'eau aval                                   | $N_{\text{aval}}$                  | m.a.s.l.                | 103.78   | 103.84   | 103.88   |
| Niveau d'eau amont                                  | $N_{\text{amont}}$                 | m.a.s.l.                | 103.83   | 103.89   | 103.93   |

| <b>Calculs hydrauliques</b>                      |                             |          |          |          |
|--|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Projet : STEU Motacusal - Horizon du projet 2041 |                             |          |          |          |
| <b>Pente canaux en amont</b>                     |                             |          |          |          |
|  | -                           | 0.01     | 0.01     | 0.01     |
| Longueur   | m                           | 3.50     | 3.50     | 3.50     |
| Hauteur additionnelle                            | m                           | 0.02     | 0.02     | 0.02     |
| Niveau eau aval                                  | N <sub>aval</sub> m.a.s.l.  | 103.83   | 103.89   | 103.93   |
| Niveau eau amont                                 | N <sub>amont</sub> m.a.s.l. | 103.85   | 103.91   | 103.95   |
| <b>Canaux dégrillage fin</b>                     |                             |          |          |          |
| Débit eaux usées                                 | m <sup>3</sup> /h           | 1 172.00 | 2 930.00 | 4 219.20 |
| Débit total                                      | m <sup>3</sup> /h           | 1 172.00 | 2 930.00 | 4 219.20 |
| Nb de canaux                                     |                             | 3        | 3        | 3        |
| Débit par canaux                                 | m <sup>3</sup> /h           | 390.67   | 976.67   | 1 406.40 |
|  | m <sup>3</sup> /s           | 0.109    | 0.271    | 0.391    |
|  | l/s                         | 108.52   | 271.30   | 390.67   |
| Coeff. Strickler k St                            |                             | 60       | 60       | 60       |
| Largeur inférieure                               |                             | 0.80     | 0.80     | 0.80     |
| Hauteur  |                             | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Hedge width n                                    |                             | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
|  |                             | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| res. width                                       |                             | 0.80     | 0.80     | 0.80     |
| Niveau d'eau                                     |                             | 0.50     | 0.50     | 0.50     |
| Coupe transversale 1                             | m <sup>2</sup>              | 0.40     | 0.40     | 0.40     |
| Coupe transversale 2                             | m <sup>2</sup>              | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Coupe transversale                               | m <sup>2</sup>              | 0.40     | 0.40     | 0.40     |
| Périmètre mouillé 1                              | m                           | 0.80     | 0.80     | 0.80     |
| Périmètre mouillé 2                              | m                           | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Périmètre mouillé                                | m                           | 1.80     | 1.80     | 1.80     |
| Rayon hydraulique                                | m                           | 0.22     | 0.22     | 0.22     |
| Gradient   |                             | 0.0000%  | 0.01%    | 0.06%    |
| Pente  |                             | 0.00%    | 0.01%    | 0.06%    |
|  | m / s                       | 0.01     | 0.23     | 0.55     |
|  | m <sup>3</sup> / h          | 19.30    | 331.06   | 791.75   |
|  | l / s                       | 5.36     | 91.96    | 219.93   |
| Longueur tronçon                                 | l m                         | 1.70     | 1.70     | 1.70     |
| Pertes de charge energie                         | m                           | 0        | 0        | 0        |
| Différence hauteur dans le canal                 | m                           | 0        | 0        | 0        |
| Niveau d'eau aval                                | N <sub>aval</sub> m.a.s.l.  | 103.85   | 103.91   | 103.95   |
| Niveau d'eau amont                               | N <sub>amont</sub> m.a.s.l. | 103.85   | 103.91   | 103.95   |
| <b>Pertes de charges dégrilleur fin</b>          |                             |          |          |          |
| Débit  | l/s                         | 109      | 271      | 391      |
| Pertes de charges dans dégrilleur fin            | m                           | 0.200    | 0.200    | 0.200    |
| Niveau d'eau en aval                             | N <sub>aval</sub> m.a.s.l.  | 103.85   | 103.91   | 103.95   |
| Niveau d'eau en amont                            | N <sub>amont</sub> m.a.s.l. | 104.05   | 104.11   | 104.15   |
| <b>Canaux dégrillage grossier</b>                |                             |          |          |          |
| Débit eaux usées                                 | m <sup>3</sup> /h           | 1 172    | 2 930    | 4 219    |
| Débit total                                      | m <sup>3</sup> /h           | 1 172    | 2 930    | 4 219    |
| Nb de canaux                                     |                             | 3        | 3        | 3        |
| Débit par canaux                                 | m <sup>3</sup> /h           | 390.67   | 976.67   | 1 406.40 |
|  | m <sup>3</sup> /s           | 0.109    | 0.271    | 0.391    |
| Coeff. Strickler k St                            |                             | 60       | 60       | 60       |
| Largeur inférieure                               |                             | 0.60     | 0.60     | 0.60     |
| Hauteur  |                             | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Hedge width n                                    |                             | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
|  |                             | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| res. width                                       |                             | 0.60     | 0.60     | 0.60     |
| Niveau d'eau                                     |                             | 0.50     | 0.50     | 0.50     |
| Coupe transversale 1                             | m <sup>2</sup>              | 0.30     | 0.30     | 0.30     |
| Coupe transversale 2                             | m <sup>2</sup>              | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Coupe transversale                               | m <sup>2</sup>              | 0.30     | 0.30     | 0.30     |
| Périmètre mouillé 1                              | m                           | 0.60     | 0.60     | 0.60     |
| Périmètre mouillé 2                              | m                           | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Périmètre mouillé                                | m                           | 1.60     | 1.60     | 1.60     |
| Rayon hydraulique                                | m                           | 0.19     | 0.19     | 0.19     |
| Gradient   |                             | 0.0001%  | 0.03%    | 0.19%    |
| Pente  |                             | 0.00%    | 0.03%    | 0.19%    |
|  | m / s                       | 0.02     | 0.35     | 0.85     |
|  | m <sup>3</sup> / h          | 22.30    | 382.10   | 913.87   |
|  | l / s                       | 6.19     | 106.14   | 253.85   |
| Longueur tronçon                                 | l m                         | 2.00     | 2.00     | 2.00     |
| Pertes de charge energie                         | m                           | 0        | 0        | 0        |
| Différence hauteur dans le canal                 | m                           | 0        | 0        | 0        |
| Niveau d'eau à l'entrée du dégrilleur fin        | N <sub>aval</sub> m.a.s.l.  | 104.05   | 104.11   | 104.15   |
| Niveau d'eau en amont                            | N <sub>amont</sub> m.a.s.l. | 104.05   | 104.11   | 104.15   |
| <b>Pertes de charge dégrilleur grossier</b>      |                             |          |          |          |
| Débit  | l/s                         | 6        | 106      | 254      |
| Pertes de charges dans le dégrilleur             | m                           | 0.200    | 0.200    | 0.200    |
| Niveau d'eau en aval                             | N <sub>aval</sub> m.a.s.l.  | 104.05   | 104.11   | 104.15   |
| Niveau d'eau en amont                            | N <sub>amont</sub> m.a.s.l. | 104.25   | 104.31   | 104.35   |



# 8

## **ANNEXE 8: PLAN D'IMPLANTATION DE LA STEU MOTACUSAL**



**Légende**

1. Entrée des eaux résiduuelles
2. Pompage initial
3. Prétraitement
4. Chambre de distribution 1
5. Bassins de dénitrification (0 + 4)
6. Chambre de distribution 2
7. Phase 1: RAFA (4)  
Phase 2: Décanteurs intermédiaires (8)
8. Station de pompage intermédiaire
9. Lits bactériens (4 + 2)
10. Station de pompage pour la recirculation
11. Décanteurs secondaires (4 + 2)
12. Chambre de distribution 3
13. Canaux de désinfection (2 + 1)
14. Evacuation des eaux traitées
15. By-pass
16. Station de pompage boues primaires
17. Station de pompage boues secondaires
18. Ouvrages épaissement des boues (1 + 5)
19. Station de pompage des boues à digérer
20. Digesteurs (+ 4)
21. Ouvrages épaissement des boues digérées (1 + 1)
22. Déshydratation des boues
23. Lits de séchage des boues (1,2ha + 1,5 ha)
24. Bâtiment électrique pour le prétraitement
25. Poste de contrôle - entrée
26. Bâtiment de contrôle
27. Ateliers et entrepôts
28. Logement de l'opérateur
29. Bâtiment pour la déshydratation
30. Bâtiment des réactifs
  - a) Débitmètre magnétique d'entrée
  - b) Débitmètre magnétique de sortie
31. Combustion du biogaz
32. Point de connexion des secteurs "2/ sector B Este" y "6/sector"
33. Clôture de la STEU

| REVISIONES |       |                    |              |
|------------|-------|--------------------|--------------|
| N°         | Fecha | Título/Descripción | Aprobado Por |
|            |       |                    |              |
|            |       |                    |              |

|   |                          |                             |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| <b>GITEC</b><br>CONSULT S.R.L.  | <b>GITEC - IGIP GMBH</b> |                             |
|   |                          |                             |
| PROGRAMA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN ÁREAS PERIURBANAS<br>Contrato Modificatorio No. 5 |                          |                             |
| Ampliación de la PTAR ESTE<br>Diseño de Factibilidad de la PTAR Motocucusal                 |                          |                             |
| Plano: PLANTEO FUTURA PTAR ALTERNATIVA 4<br>Fases 1 & 2                                     |                          |                             |
| Fecha: Julio - 2018   | Escala: Indicada         | Código de Plano: 70         |
| Elaborado por: [ing.]   | Experto: [ing.]          | Gerente de Programa: [ing.] |
|   |                          | 3.4.2                       |

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Diplôme(s) : Mastère Spécialisé**

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

**Auteur :** Tiphaine GUILLET

**Année :** 2017 / 2018

**Titre :** Optimisation et extension des capacités des stations de traitement des eaux usées dans les zones péri-urbaines Nord de la ville de Santa Cruz de la Sierra, Bolivie – Etude de faisabilité

**Nombre de pages**      texte 62 (corps du texte)    annexes 61

**Nombre de références bibliographiques** 32

**Structure d'accueil :** GITEC-IGIP GmbH, Carlswerkstrasse 13D, 51063 KÖLN, DEUTSCHLAND

**Maître de stage :** Marcel STÜRMER

### Résumé

La ville de Santa Cruz en Bolivie a connu une importante croissance démographique et les installations de traitement actuellement en exploitation ne peuvent plus absorber le débit d'eaux usées journalier.

Une étude de faisabilité a donc été réalisée dans le but de proposer différentes alternatives pour l'extension des capacités de traitement des eaux usées de la ville (extension et construction d'une nouvelle station). L'objectif est de proposer une matrice d'évaluation à la coopérative responsable de l'exploitation, permettant de choisir la meilleure option de traitement selon différents critères tels que : performance, coûts, production de résidus, niveau technologique, espace requis, etc.

### Mots-clés

eaux usées, station d'épuration (STEU), traitement biologique, étude de faisabilité, réacteurs anaérobies, lagunage, boues activées, lits bactérien, traitement des boues, Bolivie