

SAFEGE

Maîtrise d'œuvre pour l'augmentation de la capacité épuration de la station d'épuration de Saint Laurent Blangy

Note complémentaire sur le traitement
tertiaire et quaternaire

Date : 31/03/2025

Version : A


SAFEGE
Ingénieurs Conseils

TGMP
architectes & associés

Vérification des documents IMP411

Numéro du projet : S21NMO022

Intitulé du projet : Maîtrise d'œuvre pour l'augmentation de la capacité d'épuration de Saint-Laurent-Blangy

Intitulé du document : Note complémentaire pour l'intégration d'un traitement tertiaire et traitement quaternaire

Version	Rédacteurs NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
A	Angélique MOREL	THIBAUT Maxime	29/03/2025	Version initiale

Sommaire

1.....	Introduction	1
2.....	Rappel du projet	2
2.1	Débits et charges retenus	2
2.2	Rappel des objectifs de traitement	2
2.3	Filière boues	2
2.4	Localisation du projet	2
2.5	Contraintes applicables	3
3.....	Niveaux de rejet DERU	5
3.1	Généralités	5
3.2	Traitement tertiaire	5
3.3	Traitement quaternaire	5
4.....	Revue des techniques de traitement	7
4.1	Traitement tertiaire	7
4.2	Traitement quaternaire	10
5.....	Présentation sommaire des travaux	13
5.1	Conception du traitement tertiaire et quaternaire	13
5.2	Synoptique de la filière du tertiaire et quaternaire	16
5.3	Descriptif des travaux	16
6.....	Estimation financière	20
6.1	Couts d'investissements	20
7.....	Annexes	21
7.1	Annexe n°1 : Plan d'implantation – Solution 1 a	21
7.2	Annexe n°2 : Plan d'implantation – Solution 1 b	21
7.3	Annexe n°3 : Plan d'implantation – Solution 2	21

Table des illustrations

Figure 1 : Plan de division : Eurométha – CUA STEU	3
Figure 2 : Extrait de la zone 1 – Géoportail	4
Figure 2 : Type de filtration tambours / disques	8
Figure 3 : Photos de réalisation.....	9
Figure 4 : Exemple de filtres à CAG	11
Figure 5 : Exemple de réacteur à CAP avec décanteur	12
Figure 6 : Exemple de réacteur à lit fluidisé <i>en micro-grain</i>	13
Figure 7 : Extrait du profil hydraulique du projet	14
Figure 8 : Extrait du plan de masse « Solution 1a »	15
Figure 9 : Extrait du plan de masse « Solution 2 »	16

Liste des tableaux

Tableau 1 : synthèse des débits et charges retenus.....	2
Tableau 2 : Extrait Tableau 3 Micropolluants de la DERU	6

1. INTRODUCTION

La Communauté Urbaine d'Arras (ou « CUA ») dispose d'une station d'épuration principale qui traite une majorité des eaux usées de l'agglomération. Cette unité, implantée à Saint Laurent Blangy, a été mise en service en 1999.

Cette unité comprend deux files de traitement des eaux usées utilisant le procédé de boues activées en aération prolongée. Les effluents ainsi traités sont alors rejetés au milieu naturel : la Scarpe, canalisée au point du rejet.

Les boues produites sont alors épaissies puis déshydratées (filtre-presse) avec un stockage in-situ permettant ainsi leur valorisation agricole par épandage.

La CUA souhaite augmenter la capacité épuratoire de sa STEU.

Pour ce projet d'extension, la CUA a confié au Groupement SAFEGE - TGMP la maîtrise d'œuvre de cette opération. Cette mission comprend les missions suivantes :

- Missions de maîtrise d'œuvre : DIA, AVP, PRO, DCE, ACT, VISA, DET et AOR ;
- Missions complémentaires liées aux diagnostics complémentaires, dossiers réglementaires.

Au stade du projet (PRO), la CUA a retenu la création d'une troisième file en boues activées identique à l'actuelle par souci d'homogénéité avec l'unité existante et par simplicité d'exploitation. Pour la filière boues, celle-ci est maintenue avec les adaptations nécessaires. Le projet a été remis et validé en juillet 2023.

L'ouvrage épuratoire devra à terme respecter les minimums réglementaires, indiquées dans la révision de la DERU (Directive-cadre sur l'Eau Résiduaire Urbaine), adoptée par le Parlement Européen le 10 avril 2024.

La présente note indique les techniques de traitements tertiaire et quaternaire afin de respecter les normes dans le cadre de la DERU pour une STEU > 150 000 EH.

Une présentation technique sommaire de la solution d'extension future proposée est décrite, accompagnée d'une estimation financière.

2. RAPPEL DU PROJET

2.1 Débits et charges retenus

Pour la situation future, il a été retenu les valeurs suivantes en phase projet :

Paramètres	Moyenne future Temps Sec	Pointe Future Temps Sec	Pointe Future Temps de Pluie
Equivalent-Habitants	95 083 EH	176 333 EH	204 833 EH
Débit	27 274 m ³ /j	35 510 m ³ /j	58 000 m ³ /j
MES	7 350 kg/j	13 720 kg/j	17 300 kg/j
DCO	14 200 kg/j	22 800 kg/j	30 865 kg/j
DBO ₅	5 705 kg/j	10 580 kg/j	12 290 kg/j
NTK	1 808 kg/j	2 180 kg/j	3 510 kg/j
Pt	168 kg/j	214 kg/j	350 kg/j
Débit moyen	1 136 m ³ /h	1 480 m ³ /h	2 417 m ³ /h
Débit de pointe	1 880 m ³ /h	2 886 m ³ /h	2 886 m ³ /h

Tableau 1 : synthèse des débits et charges retenus

Le débit de pointe futur par temps de pluie est de 2886 m³/h.

Le débit de pointe futur par temps sec est de 1480 m³/h.

Les files du biologiques sont dimensionnées sur un débit horaire de 962 m³/h par file, soit au total 2886 m³/h en eau clarifiée.

2.2 Rappel des objectifs de traitement

Au stade projet, la filière de traitement de type « BA-Clarif » peut atteindre les traitements garantis suivants :

- DBO₅ : 20 mg/l ;
- DCO : 90 mg/l ;
- MES : 30 mg/l ;
- NGL : 10 mg/l (avec une concentration de 10 mg/l en NGL, il n'y aura pas de sujet pour l'ammoniaque) ;
- Pt : 1 mg/l (et un flux journalier calculé sur une concentration de 0,8 mg/l).

Les effluents traités sont rejetés au milieu naturel : la Scarpe via une canalisation de rejet.

2.3 Filière boues

Le devenir des boues par valorisation agricole par épandage est maintenu pour l'extension de la station.

2.4 Localisation du projet

La CUA nous a fourni le plan avec les limites séparatives entre le projet d'Euraméthra et le projet de l'extension de la STEU (plan « STEP-SLB_Foncier-sup-dispo – 17/01/2025 »).

Sur ce plan, nous avons intégré le projet d'extension de la STEU puis réalisé la conception pour la mise en place des traitements complémentaires (tertiaire et quaternaire). Le principe de conception est défini dans un paragraphe spécifique de la présente note « conception du traitement tertiaire et quaternaire ».

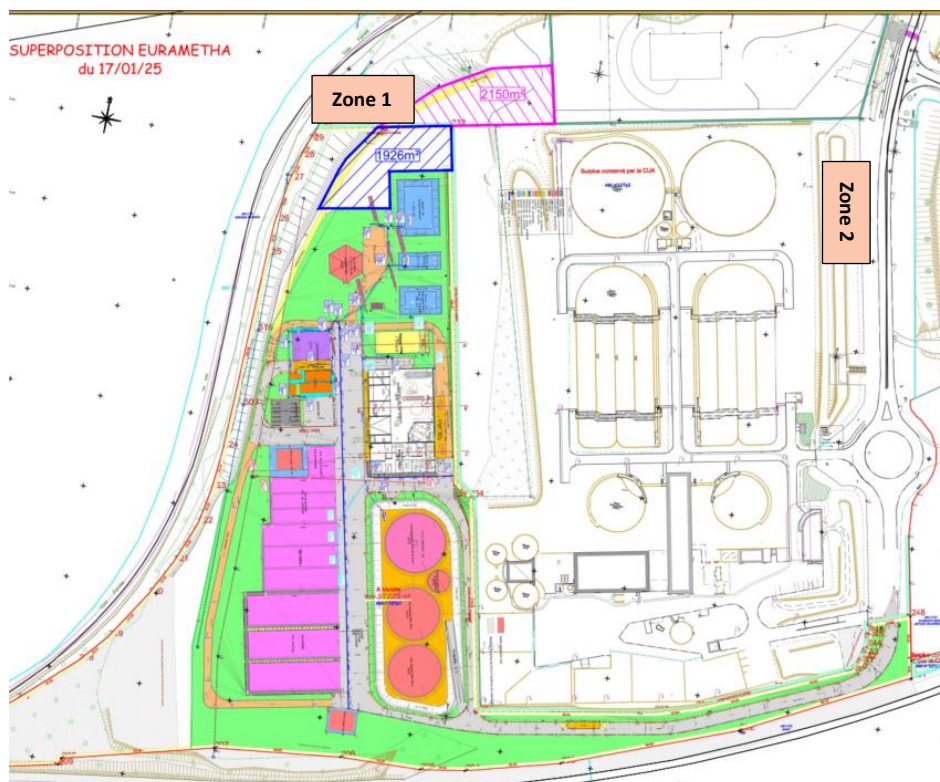


Figure 1 : Plan de division : Eurométhà – CUA STEU

Les places disponibles pour l'implantation du traitement tertiaire et quaternaire sont les suivantes :

Zone 1 = zone entre Eurométhà et la nouvelle file biologique = 4 000 m² (1 926 m² et 2 150 m²).

Zone 2 = zone à côté du chemin d'accès.

2.5 Contraintes applicables

En première approche et à ce stade de l'étude préliminaire, les contraintes repérées sont définies dans les paragraphes ci-dessous.

2.5.1 Accès, circulation

Les zones disponibles pour l'implantation du traitement tertiaire et quaternaire sont donc les suivantes :

- Zone 1 = zone entre Eurométhà et la nouvelle file biologique = 4 000 m² (1 926 m² et 2 150 m²) avec :
 - Accès et Circulations sont très contraints : Zone encombrée avec peu voire pas d'accès, zones de manœuvre très limitées ;
 - Des ouvrages et conduites proches qui ne favorisent pas les travaux à proximité et le risque de déstabiliser les ouvrages avoisinants ;
 - Zone proche du rejet des eaux clarifiées et des eaux traitées.
- Zone 2 = zone à côté du chemin d'accès.
 - Zone accessible depuis la voie existante et les retournements des véhicules paraît plus facile ;

- ❑ Des ouvrages proches mais qui ne favorisent pas les travaux à proximité et le risque de déstabiliser les ouvrages avoisinants ;
- ❑ Zone proche de la rue Henri Becquerel qui est surélevée et cela peut engendrer des travaux complémentaires de renforcement ou soutènement de talus.

2.5.2 Contraintes topographiques

Un levé topographique sera nécessaire sur les zones concernées des futurs travaux.

Dans une première approche, il est à noter que les zones prévues pour les futurs travaux sont situées en contrebas de la station existante. Cette caractéristique topographique pourrait présenter des contraintes en termes d'accès au site, de stabilité du sol et pour la mise en œuvre des conduites, qui devront être étudiés et pris en compte à l'avancement du projet.



Figure 2 : Extrait de la zone 1 – Géoportail

2.5.3 Contraintes géotechniques

Une étude géotechnique devra être réalisée pour les futurs travaux.

2.5.4 Réseaux

La présence de conduites de grand diamètre, allant jusqu'à 1000 mm, est une autre contrainte majeure sur le site. En raison de leur taille et de leur emplacement, il est probable qu'il y ait une faible hauteur de couverture sur la conduite. Cela pourrait poser des problèmes en termes de protection de la conduite pendant les travaux, ainsi que de gestion de l'espace pour les nouvelles constructions. Des mesures spécifiques devront être prises pour garantir la sécurité et l'intégrité de ces conduites tout au long du projet.

2.5.5 Continuité de service / Phasage travaux

Dans le cadre de la construction des traitements tertiaire et quaternaire après la troisième file biologique et les ouvrages avoisinants, il sera essentiel d'assurer un phasage des travaux, la différenciation entre zone travaux et zone d'exploitation avec des accès distincts et d'assurer la continuité de fonctionnement de la STEU actuelle.

3. NIVEAUX DE REJET DERU

3.1 Généralités

Le projet devra maintenant respecter les minimums réglementaires, indiquées dans la révision de la DERU (Directive-cadre sur l'Eau Résiduaire Urbaine), adoptée par le Parlement Européen le 10 avril 2024.

Pour les STEP de plus de 150 000 EH, la révision de la DERU est une mise en place progressive jusqu'en 2039 avec un traitement tertiaire dédié au phosphore et jusqu'en 2045 avec un traitement quaternaire pour les micropolluants.

Nota :

La DERU intègre également l'objectif de neutralité énergétique par les propriétaires ou exploitants des stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires. Celle-ci peut être portée à la sobriété énergétique des nouvelles installations : procédés de traitement (aération, traitement des boues...), rendements moteurs, pilotage des process, valorisation de la chaleur.

3.2 Traitement tertiaire

La mise en œuvre et les obligations du traitement tertiaire pour les STEU > 150 000 EH sont définis dans l'article 7.1 de la DERU.

Concernant les stations d'épuration de capacité supérieurs à 150 000 EH les objectifs sont les suivants :

- Traitement de l'azote et du phosphore : Obligatoire avec :
 - NGL = 8 mg/L ou 80 % ;
 - Pt = 0.5 mg/L ou 90 % ;
 - En moyenne annuelle.

A noter que les stations d'épuration traitant une charge égale ou supérieure à 150 000 EH, la mise en place d'un traitement tertiaire est progressive. Le projet de directive demande que 30 % des stations concernées s'y soumettent avant le 31 décembre 2033, puis 70 % avant le 31 décembre 2036 et la totalité avant le 31 décembre 2039.

3.3 Traitement quaternaire

Les micropolluants sont des substances chimiques qui peuvent être nocives pour l'environnement et la santé humaine, même en petites quantités. Ils peuvent provenir de diverses sources, notamment les produits pharmaceutiques, les produits de soins personnels, les pesticides, les produits industriels et les déchets ménagers.

La mise en œuvre et les obligations du traitement tertiaire pour les STEU > 150 000 EH sont définis dans l'article 8.1 de la DERU et la liste des micropolluants de la partie C de l'annexe 1 de la DERU en relation avec l'article 8.

Concernant les stations d'épuration de capacité supérieurs à 150 000 EH les objectifs sont les suivants :

- Traitement des micropolluants : Obligatoire avec :
 - 80 % abattement moyen.

L'extrait est le suivant :

Tableau 3: Prescriptions relatives au traitement tertiaire des rejets provenant des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines visés à l'article 8, paragraphe 1, et/ou des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines desservant des agglomérations visées à l'article 8, paragraphe 4.

Indicateurs	Pourcentage minimal d'élimination par rapport aux valeurs à l'entrée
Substances susceptibles de polluer l'eau même à de faibles concentrations (voir note 1)	80 % (voir note 2)

Note 1: La concentration des substances organiques mentionnées aux points a) et b) est mesurée.

a) Catégorie 1 (substances pouvant très facilement être traitées):

- i) amisulpride (n° CAS 71675-85-9),
- ii) carbamazépine (n° CAS 298-46-4),
- iii) citalopram (n° CAS 59729-33-8),
- iv) clarithromycine (n° CAS 81103-11-9),
- v) diclofénac (n° CAS 15307-86-5),
- vi) hydrochlorothiazide (n° CAS 58-93-5),
- vii) métoprolol (n° CAS 37350-58-6),
- viii) venlafaxine (n° CAS 93413-69-5);

b) Catégorie 2 (substances pouvant facilement être éliminées):

- i) benzotriazole (n° CAS 95-14-7),
- ii) candésartan (n° CAS 139481-59-7),
- iii) irbésartan (n° CAS 138402-11-6),
- iv) mélange de 4-méthylbenzotriazole (n° CAS 29878-31-7) et de 5-méthylbenzotriazole (n° CAS 136-85-6).

Note 2: Le pourcentage d'élimination est calculé sur débit par temps sec pour au moins six substances. Le nombre de substances de la catégorie 1 est deux fois supérieur au nombre de substances de la catégorie 2. Si moins de six substances peuvent être mesurées à une concentration suffisante, l'autorité compétente désigne d'autres substances pour calculer le pourcentage minimal d'élimination lorsque cela est nécessaire. La moyenne des pourcentages spécifiques d'élimination de toutes les substances individuelles utilisées aux fins du calcul est utilisée pour évaluer si le pourcentage minimal de 80 % d'élimination requis a été atteint.

Tableau 2 : Extrait Tableau 3 Micropolluants de la DERU

La DERU exige que les états membres atteignent **un pourcentage minimal d'élimination de 80 % pour au moins six substances**. Le pourcentage d'élimination est calculé **sur un débit temps sec**.

Ces **6** substances sont choisies parmi les catégories 1 et 2 (cf. tableau 3 de la DERU).

Si les substances spécifiques de catégorie 1 et 2 ne sont pas détectées dans un certain État, d'autres substances micropolluantes peuvent être mesurées à la place. Ce sont ces substances qui devront être abattues toujours en respectant la règle de 6 substances avec 4 substances dans la catégorie 1 et 2 substances dans la catégorie 2.

La CUA doit surveiller et contrôler les concentrations de ces polluants (catégorie 1 et catégorie 2) dans ses rejets actuels pour la suite du projet. Ce point est peut-être réalisé dans le cadre de la RSDE (Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux).

A noter que les stations d'épuration traitant une charge égale ou supérieure à 150 000 EH, la mise en place d'un traitement quaternaire est progressive. Le projet de directive demande que 20 % des stations concernées s'y soumettent avant le 31 décembre 2033, puis 60 % avant le 31 décembre 2039 et la totalité avant le 31 décembre 2045.

4. REVUE DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Les procédés de traitement présentés dans ce chapitre sont proposés au regard de la qualité des eaux traitées à respecter dans le cadre de la DERU.

4.1 Traitement tertiaire

Les traitements tertiaires susceptibles d'être implantés en aval des traitements biologiques conventionnels visent à éliminer les pollutions résiduelles particulaires, colloïdales, solubles, polluants spécifiques et dans certains cas bactériologiques.

Les quantités de nutriments tels que le phosphore et l'azote sont également réduites de manière significative.

L'objectif est de diminuer la concentration en phosphore et donc en MES.

Les techniques de traitement à mettre en œuvre sont :

- Technique physique telle que la filtration avec :
 - Filtres à tamis (ou tambours) ;
 - Filtres à sables ;

Il faut noter que dans le cas du traitement du phosphore par filtration (pour les filtres à tamis ou filtres à sable), il est nécessaire d'injecter du chlorure ferrique en amont.

- Technique physico chimique telle que la clarifloculation avec :
 - Coagulation-floculation et décantation (type lamellaire).

4.1.1 Technique de filtration : par tamis ou tambour

La technique la plus courante et utilisée en aval d'un traitement biologique est la technique de filtration avec des disques indépendants les uns des autres ou sur un cylindre, appelé tambour.

Ce média filtrant peut être constitué de différents matériaux comme du tissu ou une toile métallique.

La filtration génère une eau filtrée débarrassée des particules en suspension appelée filtrat.

Les particules retenues à la surface sont récupérées par lavage et acheminées en tête du traitement biologique.

Le média filtrant est donc fixé sur ces deux types de support (disques ou tambours). Le support est variable suivant les fournisseurs et les objectifs attendus. Il peut être constitué de différents matériaux (toile plastique, toiles métalliques, tissu empilé).

Il existe deux types de filtration. L'effluent traverse le média filtrant :

- soit de l'intérieur vers l'extérieur (Filtration In/Out) : les filtres sont majoritairement immergés à 50-60 % dans l'eau filtrée et les MES sont retenues à l'intérieure du disque.

- soit de l'extérieur vers l'intérieur (Filtration Out/In). Les filtres sont immergés à 100 % dans l'effluent à traiter, ce qui permet l'utilisation en continu de toute la surface de toile.

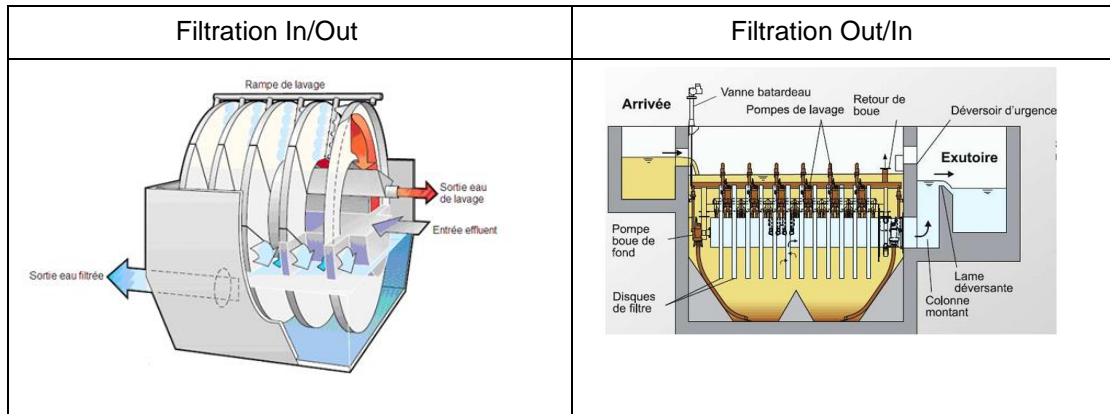


Figure 3 : Type de filtration tambours / disques





Figure 4 : Photos de réalisation

Tous les filtres sont équipés d'un système de lavages automatiques, déclenchés sur une perte de charge prédéfinie suivant le type de filtration (différence de niveau amont/aval ou niveau haut à l'intérieur du filtre, delta de l'ordre de 20 à 30 cm). Les filtres se mettent en lavage sous pression utilisant de l'eau filtrée permettant de décolmater les toiles.

Les eaux de lavages sont envoyées vers le traitement biologique ou en tête de station.

Abatement des MES et du phosphore particulaire

En sortie clarificateur, on estime une concentration en MES à 10 mg/L et 1 mg/L en Phosphore total.

Généralement, pour une concentration en MES de 10 à 15 mg/l en entrée filtre, le taux d'abattement est de 50 à 70 %, ce qui donne une concentration de MES de 5 mg/L en sortie de cette étape. Il est à noter que les fournisseurs de tambour s'engage généralement sur une entrée à 25 - 30 mg/L pour obtenir en sortie 5 mg/l en MES.

Le taux de Phosphore total (Pt) éliminé dans les MES est de l'ordre de 6%. Cela correspond à une élimination de 0.3 mg/L de phosphore (particulaire).

N'ayant pas d'analyses avec la répartition du phosphore soluble et du phosphore particulaire, on estime la répartition du phosphore total pour 1 mg/L est avec une concentration à 0.6 mg/L en particulaire et 0.4 mg/L en soluble.

En soustrayant la quantité de phosphore particulaire éliminée à la concentration initiale, nous obtenons une concentration restante de 0.3 mg/L de phosphore particulaire. La concentration de phosphore soluble reste inchangée à 0.4 mg/L.

La concentration totale de phosphore après la filtration tertiaire est de 0.7 mg/L (0.3 mg/L de phosphore particulaire + 0.4 mg/L de phosphore soluble).

Pour traiter le phosphore soluble et atteindre en phosphore total de 0.5 mg/L en sortie, il est conseillé de prévoir une étape de coagulation en amont.

Abattement du phosphore soluble

Avec l'étape de coagulation et l'ajout du coagulant, l'installation obtiendra une eau filtrée contenant moins de 0.5 mg Pt/l.

Les ortho-phosphates (phosphore soluble) sont éliminés avec le coagulant.

Il est prévu d'injecter du chlorure ferrique déjà présent sur la STEU en amont de la filtration.

4.1.2 Traitement physique : technologie par filtration sur sable

La filtration sur sable est une technique où l'eau passe à travers la couche de sable, qui retient les solides en suspension, avant d'être rejetée.

Cette technique de filtration est une étape souvent utilisée avant la désinfection. Elle permet de retirer les matières en suspension.

Pour retenir le phosphore, il est réalisé en amont de l'étape de filtration sur sable une étape de collage ou de coagulation avec l'injection de chlorure ferrique.

Pour le projet, une surface utile importante de filtration de 600 m² (minimum) sera nécessaire. Cette technique demande une bache pour la récupération des eaux sales de lavage des filtres et une bache d'eau filtrée pour le lavage des filtres. Ces baches sont généralement enterrées, sous les filtres à sable.

A cela, il faut ajouter l'installation de pompes de lavage et de surpresseurs d'air.

4.1.3 Traitement physico chimique : technologie par clarifloculation

La clari-floculation en tertiaire peut être installée après un traitement secondaire biologique suivie d'une clarification. A noter qu'un décanteur lamellaire permet donc d'atteindre les mêmes performances qu'un clarificateur sur une surface 10 fois plus petite. Il est donc généralement mis en place sur les by pass/trop plein de station d'épuration chargé en MES.

Ce traitement est constitué de trois étapes : une coagulation, une floculation et une décantation lamellaire rapide, équipés d'agitateurs à vitesse réglable.

Les boues physico-chimiques produites seront renvoyées au niveau des boues.

A titre d'information, la surface utile de traitement pour le débit de pointe de l'usine (2 880 m³/h) avec la mise en place d'une coagulation, floculation et décantation lamellaire est d'une surface utile de 500 m².

4.1.4 Choix technique

Le choix technique s'oriente avec une coagulation avec l'injection de chlorure ferrique en amont de la filtration de type tambours ou disques qui va permettre d'atteindre l'objectif de 0.5 mg/L en phosphore total.

Cette technologie est la plus utilisée (moins énergivore car moins d'équipements, facile d'exploitation) et la mieux adaptée pour éliminer le phosphore.

L'emprise au sol est la moins importante (surface utile de 150 m²) parmi les 3 techniques proposés. Cette technique est plus économe en investissement (moins d'ouvrages/ génie civil et d'équipements) et en exploitation (moins de réactifs, moins d'énergie).

4.2 Traitement quaternaire

Les perspectives de la nouvelle DERU va engendrer des obligations de traitement des micropolluants pour les stations au-delà de 150 000 EH. C'est pourquoi, ces objectifs induisent

la mise en place d'un traitement quaternaire spécifique pour ce type de polluant. Les process actuellement développés sont :

- Rétention sur charbon actif sous trois formes :
 - en grain avec une batterie de filtre CAG.
 - en poudre par l'intermédiaire d'un réacteur CAP ;
 - en micrograin d'un réacteur à lit fluidisé ;
- en option, la mise en place d'une ozonation afin d'améliorer l'adsorption sur le charbon actif pour les substances difficile à éliminer.

4.2.1.1 Charbon en grains

Il s'agit de grains de 0.8 à 2 mm.

Il est mis en œuvre dans des filtres comparables aux filtres à sable sur une hauteur de couche variable en général comprise entre 1.2 et 2.0 m.

La filtration est le plus souvent réalisée dans le sens descendant.

Les filtres à charbon sont contre-lavés en deux phases : détassage à l'air et rinçage à l'eau. Ceci tient à la densité du charbon, qui conduirait à perdre le charbon s'il était procédé à un lavage air + eau comme le sable.

L'intérêt d'une filtration sur charbon en grains tient à sa facilité d'exploitation. En dehors des périodes de chargement et de déchargement du filtre, la conduite du process se limite aux lavages périodiques (en général à fréquence hebdomadaire) et à une surveillance de la qualité de l'eau filtrée pour les paramètres visés par le process.

L'inconvénient majeur d'une filtration sur charbon en grains tient au fait qu'il s'agit d'un système statique, dont les conditions opératoires (taux de travail ou temps de contact) sont définitivement fixées à la construction des filtres, avec un charbon en place pour plusieurs années (fréquence classique de renouvellement très variable de quelques mois à quelques années).

Les avantages du charbon en grains tiennent à sa mise en œuvre : une fois mis en place dans le filtre, l'exploitation du charbon se limite à quelques lavages périodiques (1 par semaine) assimilables aux lavages des filtres à sable.

L'inconvénient majeur des filtres à charbon tient à la réactivation périodique de la charge qui oblige à extraire le charbon du filtre pour l'envoyer vers un centre spécialisé puis à remplir à nouveau la cellule de filtration concernée avec le charbon réactivé.



Figure 5 : Exemple de filtres à CAG

4.2.1.2 Charbon actif en poudre

Il s'agit d'un produit pulvérulent de taille comprise entre 10 et 25 μ m.

Il est livré en big-bags ou en vrac (stockage en silo) et injecté sous forme d'une barbotine.

Sa granulométrie favorise la cinétique des réactions d'adsorption ; il est ainsi plus réactif que le charbon actif en grains.

Le CAP est alors injecté dans un compartiment de contact, en amont d'un second étage de décantation avec recirculation de boues. Ce système permet de rendre le charbon plus efficace parce qu'il travaille sur une eau moins chargée en matières organiques adsorbables.

Il est plus souple en exploitation que le charbon en grains parce qu'il est possible d'adapter le dosage à la qualité de l'eau entrante. En outre, en cas d'évolution de l'eau et de la nature des micropolluants à piéger, il est plus facile de changer de charbon « poudre » que de charbon « grains ». Il est même possible de stocker deux voire plusieurs types de charbon, et d'adapter les charbons « à la demande ».

C'est en revanche un réactif connu pour ses contraintes de stockage, de dosage et d'injection. C'est un réactif salissant, modérément apprécié des Exploitants. C'est son inconvénient majeur.

Le charbon actif en poudre n'est pas régénérable. Il doit être évacué, en mélange ou non, avec les autres boues de l'installation.

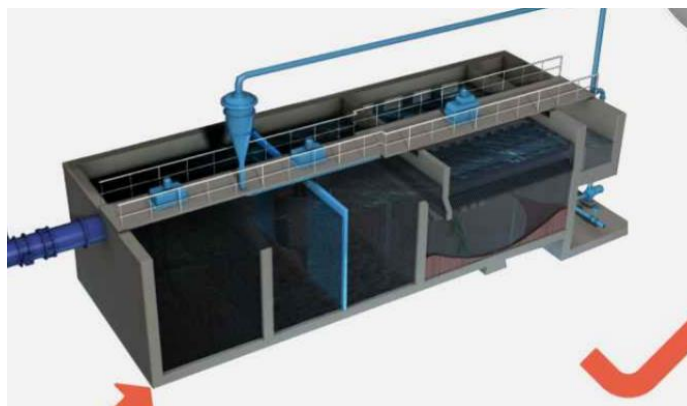


Figure 6 : Exemple de réacteur à CAP avec décanteur

4.2.1.3 Charbon actif en micro grain

En variante aux technologies de contact CAP dans lesquelles la séparation du charbon s'effectue par décantation, il est possible d'envisager une mise en œuvre du charbon actif sous forme de lit fluidisé.

Il s'agit d'un **charbon actif en poudre agglomérée** dont la taille varie de quelques centaines de μ m à moins de 1 mm.

Il présente ainsi une réactivité peu différente du charbon en poudre sans en présenter les inconvénients (poussières et fines de charbon).

Le charbon est mis en œuvre dans un réacteur à flux ascendant à la base duquel est injectée l'eau à traiter. La vitesse ascensionnelle de l'eau est choisie de manière à permettre la fluidisation du lit de charbon. Elle se situe dans une gamme de 10 à 20 m/h et un temps de contact de l'ordre de 5 à 20 minutes (adapté aux cinétiques d'adsorption des composés à éliminer et des constructeurs).

C'est une technique qui demande peu d'équipements électromécaniques.

L'eau traitée est récupérée en partie haute de l'ouvrage.

La masse de charbon dans le réacteur est régulièrement renouvelée : extraction d'une masse de charbon et injection d'une masse équivalente de charbon neuf. Le charbon usagé est alors stocké en bennes pour égouttage avant évacuation.

Comme le charbon actif en poudre, il est possible d'adapter le taux de traitement, en pratique de renouveler plus ou moins rapidement la masse de charbon dans le réacteur. Il est possible également d'adapter le charbon à la nature de la micropollution à retenir.

Enfin, à la différence du charbon en poudre, le charbon micro-grains usagé **est régénérable** au même titre que le charbon en grains.

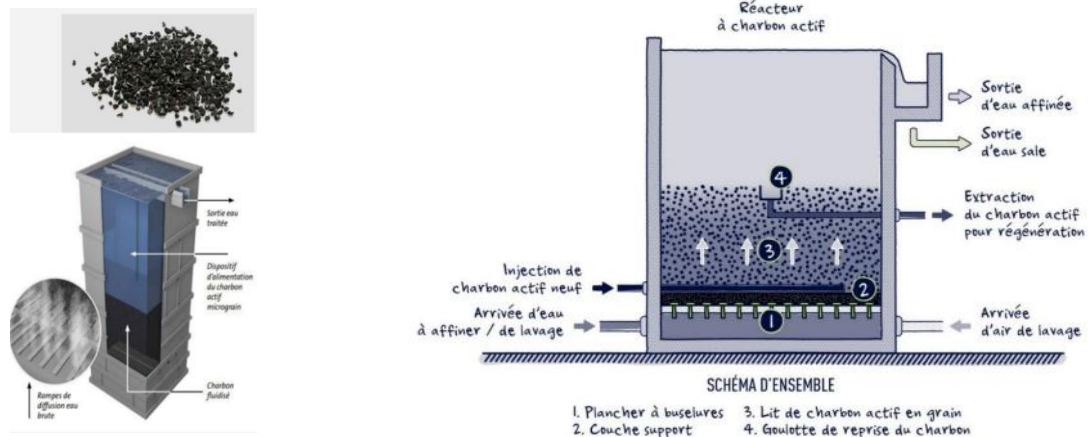


Figure 7 : Exemple de réacteur à lit fluidisé en micro-grain

4.2.2 Choix technique

Le choix s'oriente vers le réacteur à charbon actif en micro-grains.

C'est une technique dont l'emprise au sol est la plus petite.

Le dosage de charbon est ajustable afin de pouvoir gérer les variations potentielles de pollution ou de changement de substances. Il est possible et facile d'adapter le taux de traitement et de changer ou d'adapter de type de charbon rapidement dans le réacteur et dans les silos de stockage suivant le type de pollution.

Le charbon usagé est évacué pour être régénéré. Celui-ci est tout simplement stocké, égoutté dans une benne filtrante puis évacué.

5. PRESENTATION SOMMAIRE DES TRAVAUX

5.1 Conception du traitement tertiaire et quaternaire

5.1.1 Principe d'implantation et d'organisation des ouvrages

A ce stade de l'étude, les ouvrages à implanter sont :

- Relevage intermédiaire pour permettre au maximum un écoulement gravitaire.
- Traitement tertiaire est composé de :
 - Coagulation ;
 - Filtration avec tambours ;
 - Stockage eaux filtrées ;
 - Pompes eaux lavages des tambours ;
 - Pompes d'évacuation des eaux sales de lavages vers le biologique.
- Traitement quaternaire est composé de :

- Réacteurs à lit fluidisé micro-grains ;
- Canal de collecte des eaux traitées ;
- Canal de comptage en sortie du traitement quaternaire.
- Réactifs :
 - Chlorure ferrique : stockage et injection ;
 - Micro-grains CAP : stockage et injection ;
 - Bennes de stockage des micro-grains CAP usagés.
- Locaux communs aux traitements :
 - Local de pompage (eaux de lavage) ;
 - Local électrique

5.1.2 Etagement hydraulique

Le calage altimétrique du traitement tertiaire et quaternaire dépend du fil d'eau de sortie du nouveau canal de rejet et du fil d'eau d'entrée de la Scarpe.

Le calage altimétrique de ces nouvelles étapes sera conçu pour permettre au maximum un écoulement gravitaire.

Pour avoir un écoulement en majorité gravitaire, il sera nécessaire de mettre en place un poste de relevage intermédiaire en sortie du canal de comptage (commun aux 3 files).

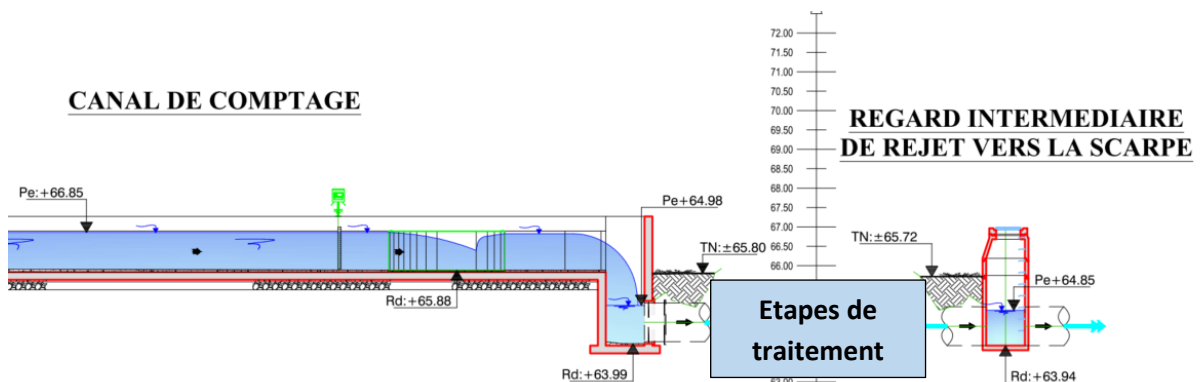


Figure 8 : Extrait du profil hydraulique du projet

De plus, le poste de relevage en amont de la filière offre la possibilité de réaliser principalement des ouvrages hors sol. Cela permet de limiter les travaux de terrassement qui risqueraient de déstabiliser les ouvrages et les conduites avoisinants.

Il n'a pas été retenu de mettre en place le poste de relevage intermédiaire en sortie du traitement tertiaire. Cela nécessiterait la réalisation d'ouvrages semi-enterrés pour le traitement tertiaire et donc des terrassement / soutènement.

5.1.3 Synthèse de conception

Dans le cadre l'étude, il est présenté sommairement 3 solutions :

- Solution n°1 : Emplacement de la zone 1 (demandé par la CUA) :

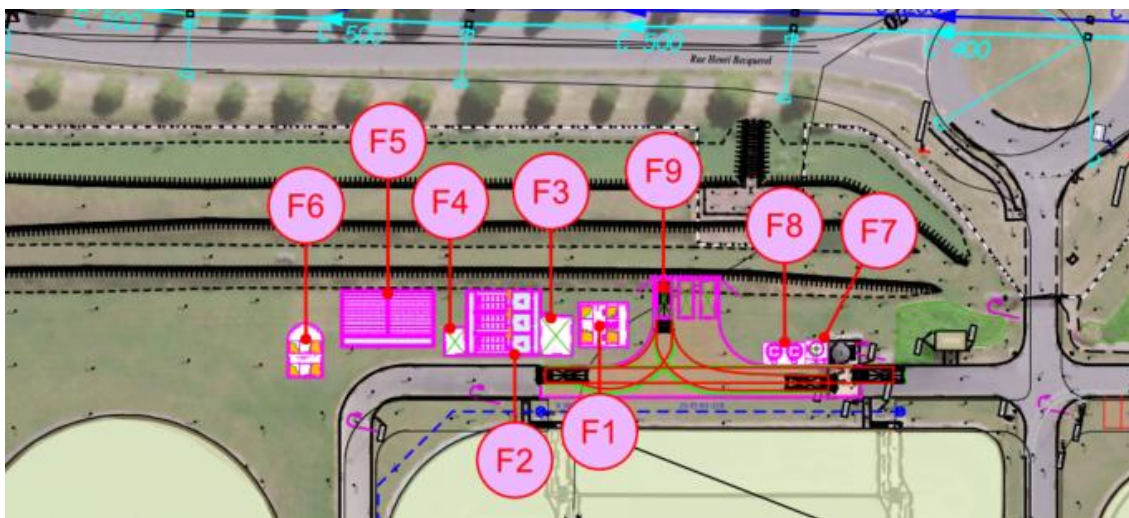
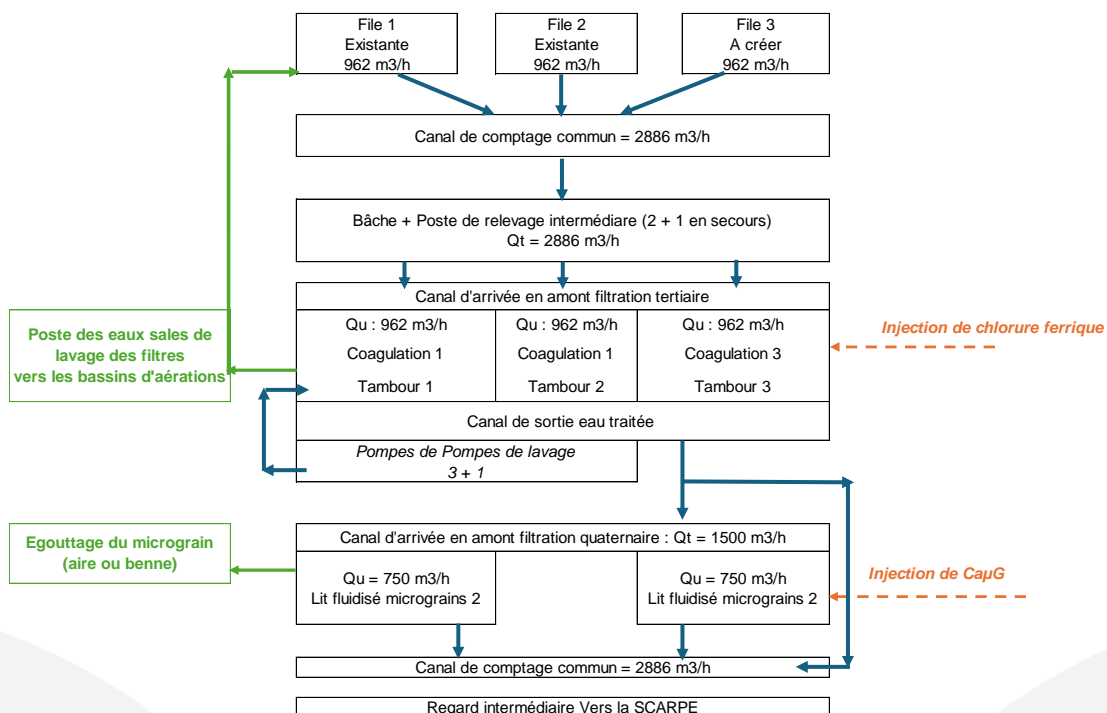


Figure 10 : Extrait du plan de masse « Solution 2 »

5.2 Synoptique de la filière du tertiaire et quaternaire



5.3 Descriptif des travaux

Le descriptif ci-dessous est pour les 2 solutions.

5.3.1 Amenée des effluents clarifiées

Les eaux clarifiées seront interceptées en sortie des 3 clarificateurs avec le canal d'amené et le canal de comptage.

L'alimentation vers le traitement tertiaire est prévue gravitairement avec une conduite en DN 1000.

5.3.2 Poste de relevage intermédiaire

Les eaux traitées arrivent dans une bêche. Un relevage intermédiaire est mis en place afin d'alimenter la filtration tertiaire.

Il est prévu 4 pompes immergées de 1500 m³/h avec un variateur de fréquence par pompe (2 à 3 en fonctionnement et 1 en secours).

Le débit de 1500 m³/h permet de fonctionner avec une pompe à débit moyen de 1136 m³/h en temps sec et à 1480 m³/h en temps de pluie. Le pompage fonctionnera par régulation avec deux ou trois pompes suivant le débit entrant. Cela permet également d'élargir la place de fonctionnement.

Il sera mis en place des régulations du niveau par sonde ultra-sons (avec secours) dans la bêche intermédiaire et une mesure de débit.

Les bases de dimensionnement pour le pompage sont les suivantes :

- Débit de pointe à relever total : 2886 m³/h
- Débit unitaire par pompe en fonctionnement : 1500 m³/h (deux à trois en fonctionnement)
- Débit unitaire par pompe en secours : 1 pompe à 1500 m³/h installée.

5.3.3 Traitement tertiaire

La filtration tertiaire est dimensionnée sur le débit de pointe de 2 886 m³/h. Tout comme le biologique, le traitement tertiaire sera composé de 3 files de traitement en parallèle chacune dimensionnée pour traiter 962 m³/h.

Un by-pass de l'ensemble du traitement tertiaire est prévu par un jeu de vannes ou un canal béton.

Le coagulant sélectionné est celui de la STEU actuelle, le chlorure ferrique.

L'injection du chlorure ferrique se fait dans un ouvrage spécifique commun en amont de la filtration. Elle est dimensionnée afin d'obtenir un temps de contact de l'ordre de 2 min soit un volume utile total de 100 m³. Le mélange du réactif avec l'eau est assuré par trois agitateurs pendulaires à vitesse variable dans l'ouvrage de coagulation.

L'installation pour le stockage et injection de chlorure ferrique est avec une cuve double peau en PEHD avec une mesure de niveau ultrason, un coffret de dépotage, 1 coffret pour les pompes doseuses avec pot d'étalonnage et de 4 pompes de type membrane à variation de vitesse (1 pompe en fonctionnement par file + 1 secours commun installé).

L'eau arrive dans un canal commun puis vers les ouvrages de coagulation. L'eau coagulée est répartie vers les 3 tambours, pouvant fonctionner en parallèle. Chaque filtre est positionné dans un canal béton, permettant un accès aisé à l'équipement pour toutes les manœuvres d'exploitation et de maintenance.

Le lavage s'effectue avec l'eau filtrée. Pour cela, en sortie des tambours, une bêche d'eau filtrée d'un volume utile de 30 m³ permet le stockage pour le lavage. Les filtres sont équipés de rampes

de lavage vers les « cassettes », avec une pompe de lavage par filtre. Les pompes de lavage sont situées dans un local spécifique. Elles sont accolées à la bache et en cale sèche.

Une mesure de niveau par filtre va permettre de gérer le fonctionnement pour la mise en rotation du filtre et le lavage des cassettes.

Les eaux sales du filtre sont envoyées gravitairement vers un poste toutes eaux. Les eaux sales résultant du lavage des disques seront refoulées vers les bassins d'aération. Le débit de lavage (suivant les constructeurs) est de l'ordre de 15 m³/h sur 3 min avec 6 cycles par heures par filtre. Le volume d'eau de lavage et d'eaux sales sur une heure pour les 3 filtres est de l'ordre 13,5 m³ au total. Le poste toutes eaux est équipé de 3 pompes submersibles (1 pompe par conduite et par file biologique), de capteurs de niveaux et d'un débitmètre par refoulement.

Les filtres tertiaires sont équipés d'un coffret de commande, de capteurs de niveau et une sonde de mesure de débit par file.

Une mesure de pH est prévue dans l'ouvrage de coagulation.

Des mesures de MES et pH sont également prévues en sortie de l'étape de filtration.

Des mesures de niveaux sont prévus dans la bache eau de lavage.

La coagulation et les filtres tertiaires sont accessibles depuis un escalier béton et une plateforme béton permettent l'accès à toute la périphérie du filtre pour l'entretien et l'exploitation du matériel.

Un pied de potence est à prévoir à proximité des agitateurs verticaux afin de faciliter la manutention.

Les bases de dimensionnement pour la coagulation et la filtration sont les suivantes :

- Débit entrée tertiaire : 2886 m³/h ;
- Temps de contact de la coagulation : 2 min ;
- Volume de la coagulation : 1 ouvrage de 100 m³ ;
- Nombre de file (tambours ou filtres) : 3 à un débit unitaire de 962 m³/h.

Les bases de dimensionnement pour l'élimination du phosphore :

- Concentration en phosphore à éliminer (dissous) : de 0.3 à 0.2 mg/L ;
- Quantité de phosphore à éliminer : 7,10 kg/j calculé sur le débit journalier en pointe temps sec de 35 510 m³/j ;
- Volume journalier de chlorure ferrique : 60 l/j ;
- Consommation sur 6 mois de FeCl₃ : 10 m³ ;
- Volume de la cuve : 10 m³ ;
- Autonomie de stockage : 6 mois.

5.3.4 Traitement quaternaire

Le traitement quaternaire est dimensionné sur le débit temps sec soit 1500 m³/h.

Le traitement tertiaire sera composé de 2 files de traitement en parallèle chacune dimensionnée pour traiter 750 m³/h.

Un by-pass de l'ensemble du traitement quaternaire est prévu par un jeu de vannes ou un canal béton.

Le réacteur, d'une hauteur utile d'environ 5 m, est équipé à sa base d'une raquette de distribution de l'eau à traiter et de packs lamellaires et de goulottes de récupération de l'eau traitée.

Pour maintenir le charbon micro-grains en expansion, la vitesse ascensionnelle dans l'ouvrage de contact dépend de la granulométrie (et de la densité) du charbon utilisé ; en ordre de grandeur, pour obtenir une expansion de 50% d'un lit de charbon de 400 µm, cette vitesse est comprise entre 10 et 20 m/h.

Les dimensions précises du réacteur seront en réalité en fonction du type d'ouvrage et du type de charbon proposés.

De même, la masse de charbon maintenue dans le système est en fonction du type de charbon utilisé. En fonctionnement stabilisé, la teneur du lit fluidisé est de quelques centaines de grammes/litre.

Le taux de charbon sera dans une gamme de 10 à 20 g/m³. Les installations de dosage devront être ajusté suivant les technologies, le type de charbon et le type de micropolluants.

Son renouvellement est assuré par injection de charbon frais, via un hydroéjecteur.

Des mesures de MES et pH sont également prévues en sortie de l'étape quaternaire.

Il est prévu de mettre en place deux silo de stockage de CAP (10 m³ chacun) avec un dispositif d'injection et dosage.

Les équipements d'injection et dosage sont situés sous le silo.

Trois bennes filtrantes de 15 m³ sont prévues sur site. Il est préférable que les bennes soient au plus près des ouvrages de contact charbon. Un envoi automatique du charbon micro-grains usagé depuis les réacteurs doit être prévu.

Les bases de dimensionnement pour le lit fluidisé en le charbon micro-grains sont les suivantes :

- Débit entrée quaternaire : 1500 m³/h ;
- Nombre de file : 2
- Vitesse de passage : 15 m/h.

Les bases de dimensionnement pour l'injection de micro-grains sont les suivantes :

- Débit entrée quaternaire : 10 à 20 g/m³ ;
- Volume de la cuve de stockage de CAG : 2 x 10 m³ ;
- Autonomie de stockage : à confirmer : 6 mois.

5.3.5 Rejet dans la SCARPE

Un nouveau canal de comptage en béton sera construit et reprendra la totalité du débit des eaux traitées en sortie (3 000 m³/h)

Les ouvrages sont surélevés qui permet un écoulement gravitaire jusque la Scarpe.

Les équipements sont les suivants :

- Instrumentation : 1 sonde de mesure de type radar
- Préleveur : réutilisation du préleveur existant
- Point d'alimentation électrique

5.3.6 Electricité et automatisme

La puissance à ajouter pour le traitement tertiaire et quaternaire est de l'ordre de 90 kVA.

Les équipements électriques, les coffrets de commande des tambours (...) et d'automatismes seront à l'abri et à proximité des ouvrages de traitements (tertiaire et quaternaire). Un local électrique est dédié pour cette partie.

L'alimentation électrique pour le traitement tertiaire et quaternaire sera depuis le TGBT du local électrique de la STEU existante (et du projet). Il sera nécessaire également d'intégrer la partie automatisme et supervision.

6. ESTIMATION FINANCIERE

6.1 Coûts d'investissements

6.1.1 Bases d'évaluation

Les coûts annoncés au présent paragraphe ont été établis sur les bases suivantes :

- Équipements / process : pour ces éléments spécifiques, l'évaluation a été réalisée sur la base d'opérations récentes comparables en termes de technicité et de capacité,
- Génie-civil - process : les ouvrages de process complexes ont été évalués suivant deux méthodes menées conjointement (évaluation par « recoupement ») :
 - à partir d'un avant-métré,
 - à partir d'opérations comparables récentes,
 - à partir de ratios issus de la base de données interne à SAFEGE.
 - à partir d'ouvrage identique sur des réalisations techniquement similaires
- Génie-civil des ouvrages de contenance et canalisations : compte tenu de la complexité des ouvrages, l'estimation est ici réalisée à partir de ratios de prix découlant d'opérations comparables,
- Bâtiment : évaluation sur la base de ratios et d'avant métré

Les parties non chiffrées en phase d'étude préalable sont les suivantes :

- Terrassements - fondations – Soutènement ;
- VRD – Réseaux ;
- Architecture ;
- Phasage et contraintes des travaux (avec la 3eme file biologique construite) ;

Ces coûts sont établis sur la base des conditions économiques en vigueur au mois de mars 2025.

Ce sont des coûts de travaux, qui n'intègrent pas les coûts relevant des études, missions et travaux annexes associées à l'opération.

6.1.2 Estimation budgétaire

L'estimation du montant des travaux relatifs à l'intégration d'un traitement tertiaire et quaternaire pour les 3 solutions de la station d'épuration de Saint-Laurent-Blangy est détaillée au tableau ci-après.

Sur la base des prestations décrites dans le présent mémoire, le coût global des travaux est estimé à environ 10 M€ HT, selon la décomposition suivante :

Montants en k€HT	Equipements	Génie civil	Montant total
Prestations d'étude, de préparation et mise en service	500	500	1 000
Traitement de l'eau	3 000	3 500	6 500
Traitement des rejets	500	200	700
Réactifs	150	50	200
Electricité, automatismes, supervision	1 095€	250	1 345
Divers, imprévus	155	100	255
Total	5 400	4 600	10 000

7. ANNEXES

7.1 Annexe n°1 : Plan d'implantation – Solution 1 a

7.2 Annexe n°2 : Plan d'implantation – Solution 1 b

7.3 Annexe n°3 : Plan d'implantation – Solution 2

SAFEGE

SAFEGE
Unité Ouvrages Spéciaux

