



RÉALISATION D'INSTALLATIONS PILOTES ET PROPOSITION DE SOLUTIONS DE
RÉHABILITATION DE LA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES
RAPPORT FINAL DE SYNTHÈSE

Rédacteurs :

- Pour l'INSA : Xavier LEFEBVRE et Michel MAURET
- Pour l'OiEau : Jacky BARBÉ, Julien LOUCHARD et Antoine PELUX

le 16 juillet 2020

Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne
et du Conseil Départemental de la Corrèze



Table des matières

I.	Contexte de l'étude	5
II.	Métrologie et démarche	7
II.1	Les diagnostics de terrain.....	7
II.2	Le dispositif d'acquisition des données et de commande	8
II.3	Les données.....	10
II.4	La qualité de la boue	10
III.	Profil de charges appliquées.....	13
III.1	Charge hydraulique	13
III.1.1	Les eaux domestiques de la ville de MASSERET	13
III.1.2.	Les eaux usées de l'aire d'autoroute	14
III.1.3.	Les infiltrations d'eau de pluie.....	15
III.1.4	Identification du débit de pointe maximal	16
III.1.5	Récapitulatif des contributions aux débits traités par la station	17
III.2	Charge polluante	17
IV.	La température	21
V.	Fonctionnement de la station et actions d'optimisation	23
V.1	Optimisation du syncopage de l'aération	24
V.2	Ajout d'acide acétique pour la dénitrification	25
V.3	Gestion du taux de boue.....	27
VI.	Performances de la station	31
VI.1	Traitement de la DCO.....	33
VI.2	Traitement de l'azote	33
VI.3	Traitement du phosphore.....	37
VII.	Contribution de la filtration tertiaire à la qualité des eaux	39
VIII.	Exigences d'épuration en période d'étiage.....	41
IX.	Capacité épuratoire de la station	43
X.	Conclusions	47
XI.	Programme des travaux.....	49
	Annexe 1 – Méthode de traitement des données brutes	55
	Annexe 2 – Méthode de qualification de l'état de charge de la STEU à travers l'estimation de la durée d'aération journalière	59
	Annexe 3 - Méthode d'estimation du débit associé à la pluviométrie et capté par la station	61
	Annexe 4 – Estimation de la vitesse dénitrification sur acide acétique et consommation	65
	Annexe 5 - Consignes et préconisation pour le pilotage de la station.....	67
	Annexe 6 – Consommables pour le traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute	73
	Annexe 7 – Dimensionnement constructeur.....	77
	Annexe 8 : Turbines d'aération	79
	Annexe 9 : Préconisation pour le débitmètre d'entrée	81
	Annexe 10 – Listes de documents précédemment remis	83

I. Contexte de l'étude

La station d'épuration de Masseret (2100 Equivalent habitant (EH)) est dotée d'une filière traditionnelle de traitement des eaux usées urbaines par boues activées classiques, associée à un dispositif tout aussi standard de traitement des boues par lits de séchage plantés de roseaux. Néanmoins, cette station épuration (STEU) se caractérise par deux particularités très marquées :

- Elle reçoit une charge de pollution extrêmement fluctuante en lien avec le raccordement de l'aire d'autoroute 'Portes de la Corrèze'. Cela se traduit par l'arrivée sur la STEU d'eaux usées fortement concentrées tout particulièrement sur les critères azotés et phosphorés et par des variations de flux de pollution pouvant doubler voire tripler en l'espace d'un seul weekend. De surcroît, cette pollution s'avère par moment déséquilibrée (DCO/N) rendant le traitement total de l'azote impossible en l'état.
- Elle est aussi soumise à deux régimes de normes de rejet définis en fonction de la sensibilité du milieu récepteur que représente le ruisseau des Places. Hors débit d'étiage, la STEU doit respecter des niveaux de rejet standard sans exigence spécifique de dénitrification compte tenu du critère NK imposé (et non pas NGL comme c'est plus généralement le cas). Par contre, la période d'étiage induit une sévèrisation générale de ces niveaux de rejet qui impacte plus spécifiquement les deux critères azote (concentration maximale en NK = 4.0 mg/L) et phosphore (concentration maximale en PT = 0,5 mg/L). Il convient de noter que de tels niveaux d'exigence restent à ce jour très rarement imposés en France.

Ces deux particularités se conjuguent et imposent des performances maximales pour le traitement de l'azote (nitrification totale) et pour le traitement du phosphore (déphosphatation chimique très poussée par le biais de forts dosages de réactifs chimiques). La maîtrise de ces performances est loin d'être garantie dans ce contexte de variation soudaine des flux polluants. De plus, la très faible capacité de la STEU, pour laquelle le contrat d'exploitation ne prévoit usuellement qu'une présence très partielle de l'exploitant, tend à accentuer les aléas de maîtrise.

Aussi, depuis sa mise en route en 2011, la STEU de Masseret connaît des difficultés systématiques vis-à-vis du respect des niveaux de rejet essentiellement vis-à-vis des critères NK et PT. Ces constats ont par le passé conduit l'exploitant à pousser certains réglages (allongement du temps d'aération pour optimiser la nitrification – augmentation du dosage de chlorure ferrique pour optimiser la déphosphatation) qui se sont ponctuellement révélés néfastes en remettant en cause l'efficacité de la clarification des boues activées et conduisant alors à des fuites des boues rendant non conforme la totalité des critères de rejet. D'autres adaptations plus récentes - comme le remplacement du chlorure ferrique par l'aluminate de soude (moins régulièrement sollicité pour des considérations économiques) – ont été testées mais n'ont pas forcément abouti à sécuriser totalement l'objectif de respect des normes.

Face à cet état des lieux, le service de Police de l'Eau (DDT 19) tend à juger 'localement' la STEU de Masseret comme non conforme et à s'opposer à la demande de nouveaux raccordements d'eaux usées sur le réseau d'assainissement que souhaiterait pourtant promouvoir la Ville de Masseret. Pour faire évoluer cette situation et examiner les voies de fiabilisation de son installation, la Ville de Masseret assistée de son conseil (Cabinet Socama) et avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et du département, a confié une étude au groupement OIEau de Limoges et INSA de Toulouse. Initialement envisagée via la mise en œuvre d'un pilote d'épuration sur le site, cette investigation a finalement été menée directement en vraie grandeur sur les ouvrages mêmes de la STEU. **La période d'expérimentation s'est étalée de décembre 2018 à avril 2020.** Pour cela, la STEU a été équipée d'un ensemble complet de capteurs associés à un dispositif de télétransmission et de stockage de données (data center) pour assurer une expertise en ligne et en étroite relation avec l'exploitant. Cette démarche a permis de diagnostiquer finement tous les scénarios de fonctionnement de la STEU. La mise en œuvre de tels moyens peut paraître

disproportionnée eu égard à une station de 2100 EH. Dans les faits, elle s'est trouvée totalement justifiée par rapport aux particularités cités précédemment. Dans le déroulement de cette étude, après une période de description et d'explication autrement dit d'apprentissage, nous avons cherché à utiliser au mieux l'ensemble des moyens disponibles et à mettre en place les dispositifs les plus pertinents (économiquement viable) pour utiliser cette station au maximum des performances permises par son dimensionnement. In fine, nous nous sommes attachés à définir les conditions de fonctionnement optimales de l'installation, et de proposer des aménagements permettant de garantir le bon fonctionnement de cette unité de traitement. Ces travaux ont fait l'objet de documents intermédiaires rassemblant les résultats sur les 3 périodes d'observation et de pilotage qui se sont succédées. Une liste de ces documents est fournie en annexe 10.

Ce rapport est une synthèse de ces documents et présente les orientations techniques proposées en réponse aux objectifs de l'étude. Les questions abordées lors de l'approche expérimentale sont listées sur la Figure 1. La capacité continue de traitement dépend effectivement de l'adéquation entre son dimensionnement (volume, puissance d'aération) et ses conditions de pilotage d'un côté et les amplitudes de charge, de température et de qualité de l'eau usée (DCO/N) de l'autre. Les résultats et les conclusions de ce travail ont été formalisés en présentant :

- La démarche expérimentale en renvoyant à des annexes pour la description de méthodes spécifiques
- Un état des lieux des charges traitées par la station
- Un diagnostic initial de l'état de fonctionnement de la station et les 3 axes d'optimisation principaux (syncopage aération, gestion du taux de boue et injection d'acide acétique)
- Analyse des performances de la station en conditions optimisées (DCO, azote et phosphore)

Le rôle du lit filtrant comme ouvrage de traitement de finition, les exigences de niveau de traitement (phosphore en particulier) et enfin les conditions d'extension de la capacité d'épuration de la station ont été discutés dans des chapitres dédiés.

Enfin, les consignes d'exploitation et les OPEX associées au traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute ont été rassemblées sous la forme d'annexes intitulées respectivement « Consignes et préconisation pour le pilotage de la station » et « Consommables pour le traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute »

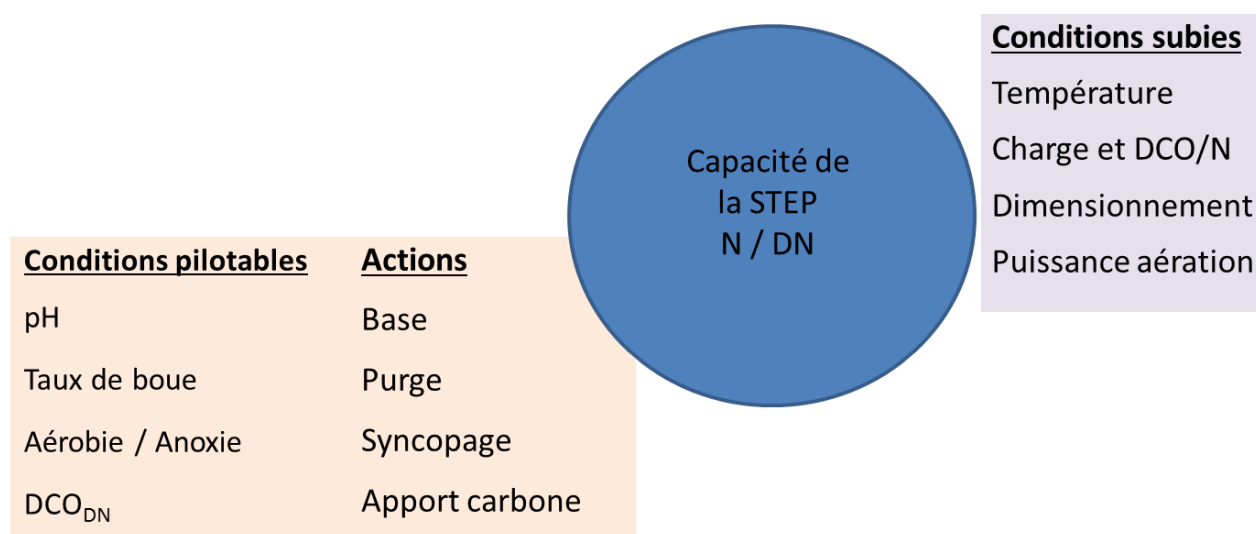


Figure 1 – Estimation de la capacité de la station

II. Métrologie et démarche

La démarche a reposé sur l'utilisation combinée :

- De mesures en ligne à partir de capteurs disponibles sur la station (O₂, redox, ...) et de capteurs mis en place pour l'étude (NH₄, NO₃, ...)
- Et de campagnes de mesure sur la station.

Par conséquent un bilan des appareils de mesure installés sur site a été réalisé par l'OIEau. Ce point zéro des équipements a mis en évidence un **dysfonctionnement grave du débitmètre entrée de station**. Une refonte de ce point de mesure réglementaire est nécessaire. Les autres points de mesure ont été déclarés conformes aux attentes réglementaires et métrologiques et ont permis de réaliser le suivi de l'installation. L'ensemble des éléments liés aux équipements de mesure in situ est disponible dans les rapports intitulés :

- « *Diagnostic métrologie n°1 les 10 et 11 décembre 2018* ».
- « *Diagnostic métrologie n°2 6 mai 2019* ».

Le Tableau 1 récapitule l'ensemble des paramètres mesurés (en précisant leur origine capteur / mesure laboratoire) – et des paramètres calculés à partir de ces paramètres mesurés.

Tableau 1 – Récapitulatif des données mesurées et calculées

	Type de mesure	Paramètres mesurés	Paramètres calculés
Entrée STEP	Capteur	Débit (<i>non exploitable</i>)	
	Mesure laboratoire	NH ₄ , NO ₃ , NTK DCO, PO ₄ , Pt, MeS	
Bassin biologique	Capteur	O ₂ Redox T pH NO ₃ NH ₄	Durée aération / durée aérobie Vitesse DN, vitesse N
	Mesure laboratoire	Essai respirométrie MES, IB, qualité boue	Vitesse DN, vitesse N
Sortie STEP	Capteur	Débit	Débit moyen (3h) Volume journalier
	Mesure laboratoire	NH ₄ , NO ₃ , NTK DCO, PO ₄ , Pt, MeS	

II.1 Les diagnostics de terrain

Les diagnostics terrain visent à faire un point complet sur le fonctionnement de l'installation. Essentiels et complémentaires au suivi à distance, ils ont permis de valider physiquement qu'aucune dérive ne s'installait sur le site, suite aux réglages décidés pour améliorer les performances de la station. C'était aussi l'occasion d'effectuer la maintenance des équipements installés pour cette étude. Certains paramètres ne pouvant être suivis ou contrôlés à distance, les diagnostics terrain ont permis, au gré des périodes de fluctuation de charge et des essais conjoncturels d'adaptation des réglages, de :

- Caractériser les eaux brutes et de confirmer que la STEU reçoit des charges azotées et phosphorées variables et conséquentes.
- Contrôler la qualité des eaux clarifiées et des eaux filtrées.

- Suivre l'évolution de la qualité des boues biologiques au travers du suivi ponctuel de l'indice de boue et de l'indice filamenteux afin de réagir à d'éventuels dérapages biologiques et prévenir notamment des situations durables de bulking pouvant résulter d'une carence en oxygène.
- Approuver le réglage de la recirculation des boues décantées via l'estimation du temps de séjour des boues dans le clarificateur.
- Vérifier la qualité des retours en tête.

Le planning des différents diagnostics s'est opéré, en concertation avec le suivi à distance, selon le calendrier suivant :

- Diagnostic général du 20/12/2018 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 04/01/2019 J. Louchard
- Observation microscopique des boues janvier 2019 S. Parotin
- Diagnostic général du 04/02/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Observation microscopique des boues février 2019 S. Parotin
- Diagnostic général du 19/02/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 15/07/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 06/08/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 22/08/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 11/09/2019 J. Barbé & A. Pelux
- Diagnostic général du 02/01/2020 J. Barbé & A. Pelux

Les comptes rendus de chacune de ces interventions sont reportés en annexe de ce rapport.

II.2 Le dispositif d'acquisition des données et de commande

L'objectif était de suivre le site en temps réel et d'accumuler de la donnée afin de diagnostiquer finement le fonctionnement de cette unité de traitement soumise à des situations de charges très contrastées dans le temps. Cela a permis d'utiliser au mieux l'ensemble des moyens disponibles sur le site et de définir les actions permettant de garantir le traitement de l'azote et du phosphore : gestion du taux de boue, calcul des vitesses de nitrification et de dénitrification, réglages des cycles d'aération, ajout de carbone dit "secondaire" et optimisation du dosage d'aluminate de soude. Pour les besoins de l'étude, des sondes permettant le suivi des formes azotées (NH_4 et NO_3) dans le bassin biologique ont été installées le 20 décembre 2018. A cette même date, s'est opéré la duplication des signaux émis par les principaux capteurs du site ainsi que leurs connexions au dispositif d'acquisition de données.

La Figure 2 présente le schéma du dispositif d'acquisition des données et de commande installé sur la station de MASSERET. L'intégration de ce dispositif sur la station est visible sur la Figure 3. Les données brutes sont acquises par le module EPERF puis envoyées dans une base de données dématérialisée via le réseau GSM. La fréquence d'acquisition est de 30 secondes. Ces données peuvent être visualisées et récupérées en se connectant au site web MYINFLEX. La Figure 4 montre l'interface graphique MYINFLEX. Un identifiant et un mot de passe garantissent bien évidemment la confidentialité des données. En retour, il est possible de commander à distance via ce même site MYINFLEX, la pompe d'ajout d'acide acétique.

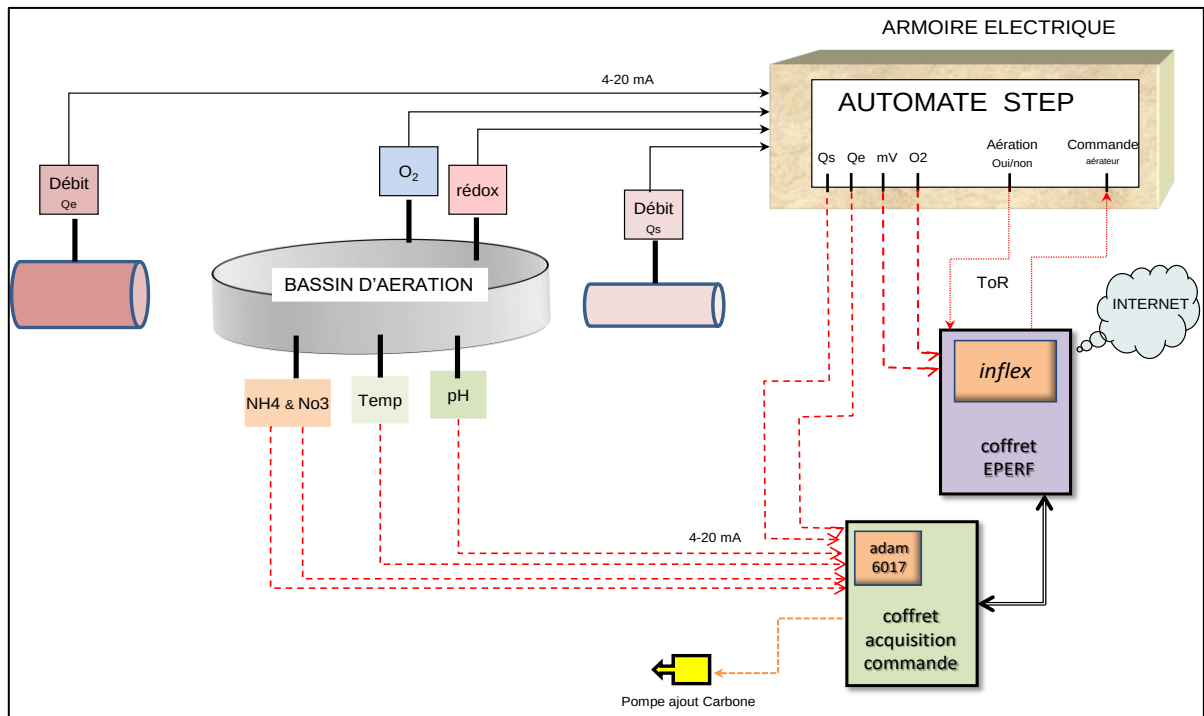


Figure 2 - Schéma du dispositif d'acquisition installé sur la station de MASSERET

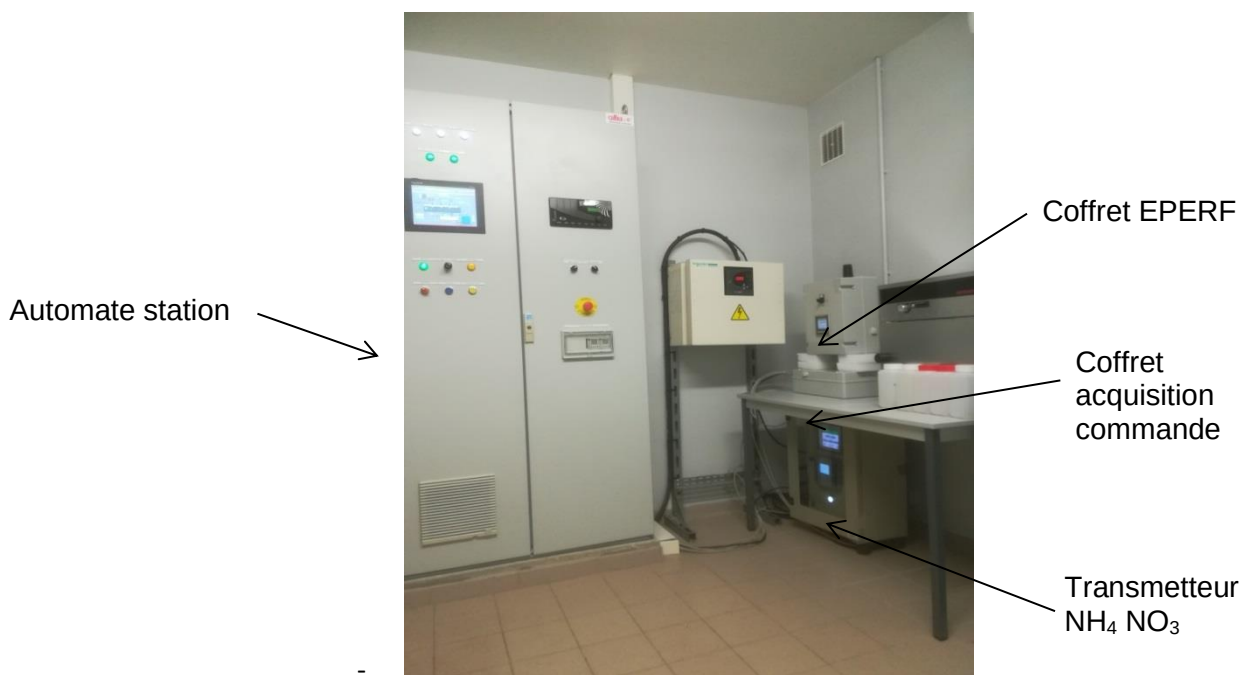


Figure 3 - Dispositif d'acquisition in-situ



Figure 4 - Interface graphique MYINFLEX permettant de visualiser en ligne l'ensemble des données brutes acquises sur la station (Fréquence d'acquisition : 30 secondes)

II.3 Les données

Dans le cadre de cette étude, nous distinguons deux types de données (tableau 1) :

- Les données **brutes** acquises sur le site : ces données sont mesurées soit en ligne par un capteur soit hors ligne et elles correspondent alors à une mesure ponctuelle.

8 paramètres sont directement acquis en continu avec une fréquence de 30 secondes : oxygène dissous ($\text{mg O}_2/\text{l}$), Redox (mV), débit d'entrée (m^3/h), débit de sortie (m^3/h), $[\text{NH}_4]_{\text{bassin biologique}}$, $[\text{NO}_3]_{\text{bassin biologique}}$, $\text{pH}_{\text{bassin biologique}}$, Température bassin biologique

Remarque : le débitmètre n'était pas fonctionnel pendant l'étude et n'a pas été utilisé. L'analyse du système a montré que le débit d'entrée est assimilable au débit de sortie

- Les données dites **calculées** : ces données vont nous permettre de caractériser et diagnostiquer le fonctionnement de ce site. Elles sont calculées par le logiciel L.A.C (logiciel d'acquisition & commande) développé au laboratoire.

4 paramètres sont ainsi obtenus : le débit d'entrée via le traitement du débit de sortie, les vitesses de nitrification et de dénitrification et la durée d'aération. Ces paramètres ont été utilisés pour diagnostiquer le fonctionnement de la station et permettre d'établir les consignes de pilotage.

Le principe d'obtention de ces paramètres est détaillé dans l'annexe 1 - Méthode de traitement des données brutes

II.4 La qualité de la boue

Dans le cadre des diagnostics terrain, des analyses relatives à la qualité de la boue ont été systématiquement faites. Ces mesures sont répertoriées dans le Tableau 2. Il s'agit en particulier de l'indice de boue et de l'indice filamenteux afin d'identifier d'éventuels dérapages biologiques consécutifs à des états particuliers de la boue activée (bulking pouvant résulter d'une carence en oxygène) et à évaluer les impacts sur la qualité de la boue des nouvelles consignes de pilotage.

Tableau 2 – Mesures relatives à la qualité de la boue à différents points de la station

Ouvrages	Boues activées			Boues recirculées	Clarificateur
Aspect	Marron foncé sans odeurs – présence de mousses biologiques sur 50% de la surface du BA			Marron foncé (à l'entrée de la zone de contact) sans odeurs	Présence d'une fine couche (< 1 cm) de flottants sans bullage ni boue
Température (°C)	7.5			-	7.3
pH	6.8			7.3	
redox (mV/EHN)	-			+ 165	+ 190 (en surface)
V30 (ml)	Sans dilution	Dilution 1/4	Dilution 1/5		
	1000	220	175	-	
V30 corrigé (ml/l)	880			-	
MES (g/l)	7.15			10.4	
MVS (% MES)	-				
IB (ml/g MES)	123				
MS (g/l)	-			-	
Profondeur voile (m)					3.50
Volume extraction (m3/j)	20				
Volume recirculé (m3/j) *					336
Observation microscopique succincte	Floccs de taille très variable avec petits floccs (30 à 40 µ) et gros floccs (200 à 300µ) Filaments : IF # 3 à 4 avec Microthrix & Nocardia Microfaune : pauvre (Vorticelles & petits Flagellés - Spirilles)				

(* volume estimé sur la base d'une capacité de pompage de 42 m³/h)

III. Profil de charges appliquées

III.1 Charge hydraulique

Le système d'acquisition et de traitement des données mise en place sur la station de MASSERET a permis d'estimer, jour par jour et sur une période de plus de 1 an, les volumes d'eau entrant sur la station (Figure 5). Par le traitement de ces données, ont été évaluées les contributions volumiques respectives des eaux domestiques de la commune, des eaux parasites liées aux précipitations et enfin des eaux usées provenant de l'aire d'autoroute.

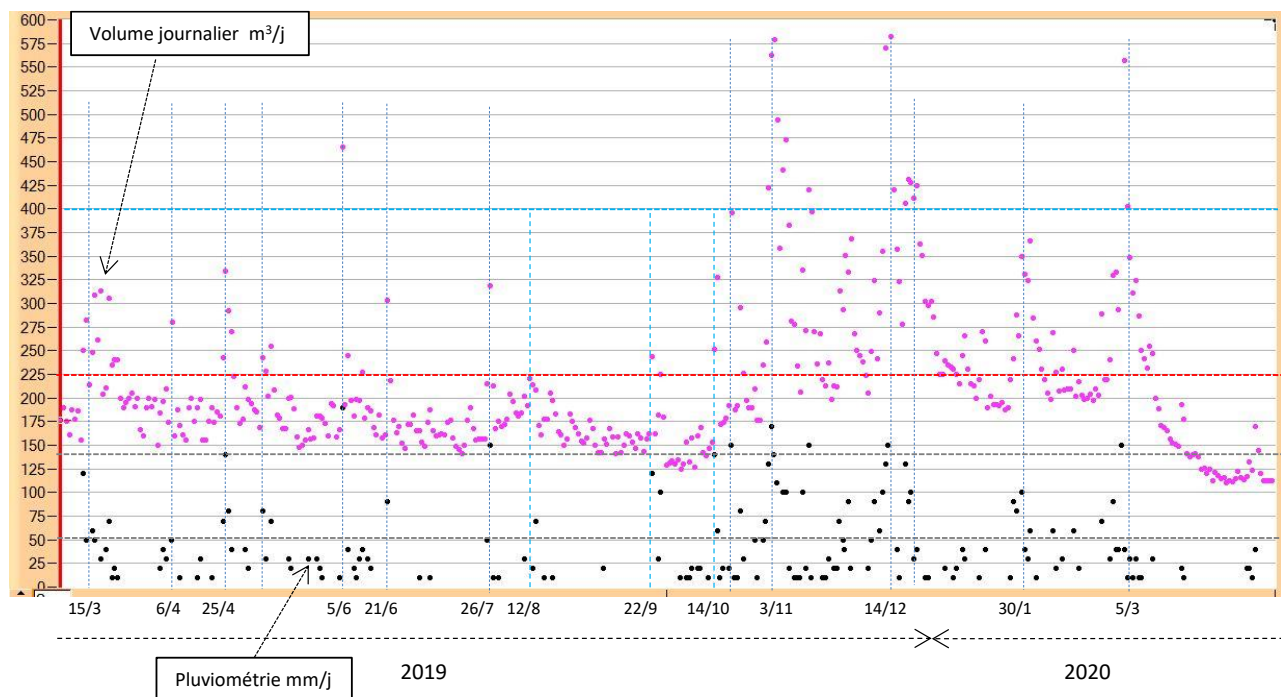


Figure 5 - Volume journalier sortant (m^3/j), pluviométrie mesurée sur la station de Masseret (mm/j ; échelle graphique $\times 10$) sur la période mars 2019 - avril 2020.

III.1.1 Les eaux domestiques de la ville de MASSERET

La difficulté de l'approche est d'identifier des périodes de temps significatives pour isoler chaque contribution. Nous avons ici exploité un événement pour le moins inattendu : la fermeture de l'aire d'autoroute "les portes de la CORREZE" pendant la période de confinement liée à la pandémie du CORONA VIRUS. Ce mois de mars 2020 est particulièrement intéressant car la période qui précède la fermeture de l'aire d'autoroute (le 17 mars) est fortement pluvieuse et la période qui lui succède est quasi totalement sèche. La Figure 6 montre donc un retour au débit de base correspondant aux seules eaux usées de la ville de MASSERET. Il faut environ quinze jours pour arriver à un débit journalier stable. Celui-ci est de **125 m^3/j** . Notons également la remarquable stabilité des volumes journaliers qui ne sont plus impactés par l'activité de l'aire d'autoroute. Sur la figure 6, il est possible de comparer les profils de débit sur cette période en 2019 et en 2020. Une différence de ligne de base de **25 m^3/j** est observée entre les deux années. Cette différence est cohérente et s'explique sans doute par l'addition des activités des entreprises de MASSERET et l'activité minimale de l'aire d'autoroute. Cette différence reste néanmoins faible puisque pesant 17 % du débit total.

La charge hydraulique de référence associée aux eaux domestiques de la ville de MASSERET et à un fonctionnement minimal de l'aire d'autoroute est donc de 150 m³/j.

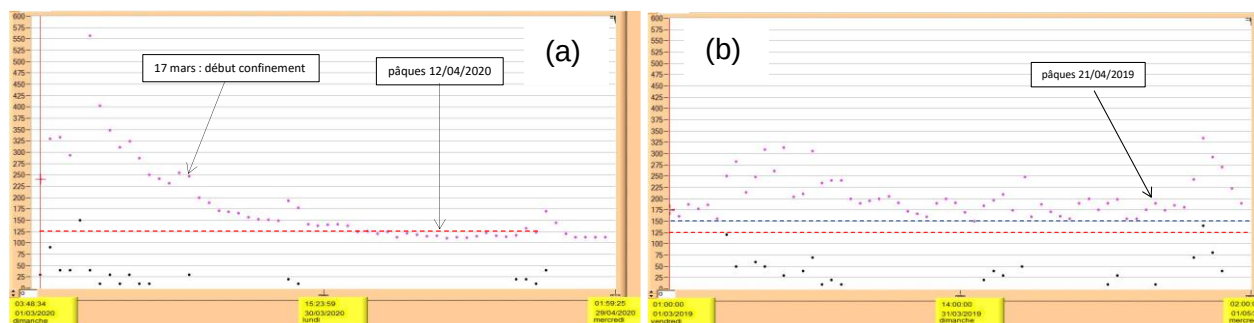


Figure 6 - Volume journalier sortant (m³/j), pluviométrie mesurée sur la station de Masseret (mm/j ; échelle graphique $\times 10$) : (a) période mars - avril 2020 (b) période mars - avril 2019

III.1.2. Les eaux usées de l'aire d'autoroute

Nous nous sommes également intéressés à l'impact de la fréquentation (ou activité) de l'aire d'autoroute sur le volume d'eau traitée de la station. **Attention, il s'agit ici de charge hydraulique, nous étudierons la charge organique et azotée dans le chapitre suivant.** Pour cela, nous avons choisi la période estivale pour deux raisons : c'est une période sèche et la période de l'année où l'aire d'autoroute est théoriquement la plus fréquentée. La Figure 7 présente les volumes journaliers traités par la station sur les mois de juillet et août 2019. Pour une meilleure compréhension des phénomènes, cette période a été découpée en semaine : du dimanche au dimanche.

De cette figure, nous pouvons tirer les enseignements suivants :

- En semaine, sur la période juin – juillet - août, les volumes minimum entrant se stabilisent dans un intervalle [145 ; 155] m³/j. C'est le débit de référence correspondant à la seule ville de MASSERET additionné de l'activité minimale de l'aire d'autoroute. Par conséquent, hors pluviométrie, tout débit supplémentaire pourra être imputé à l'aire d'autoroute.
- Lors des quatre semaines du mois d'août, toujours le même scénario, un à-coup de volume à traiter le samedi puis une diminution progressive de celui-ci au cours de la semaine. Au cours des week-ends du 4, 18 et 25 août (week-ends non pluvieux), entre le vendredi et le samedi, nous observons une augmentation significative du volume journalier qui atteint un maximum compris entre 184 à 206 m³/j. Cette augmentation est systématique et d'environ + 30 à 50 m³/j d'effluent à traiter soit environ + 20 à 30% de charge hydraulique.

Remarque : le samedi **01/08/2015**, il avait été mesuré un volume entrant de 209 m³.

- Il est à noter des variations quasi identiques de volumes le week-end de Pâques 2019. Le Dimanche 21 avril 2019, jour de Pâques nous constatons un débit de 190 m³/j soit 40 m³ (26%) de plus que le débit de référence.
- Pendant toute la période hivernale et les fêtes de fin d'année en particulier, une constante pluviométrie empêche de faire la part des contributions entre les infiltrations d'eau parasites et la sur-fréquentation de l'aire d'autoroute.

En conclusion, une analyse fine des données de débits entrant sur la station de MASSERET montre qu'en période sèche et hors pluviométrie, **les pics de fréquentation de l'aire d'autoroute génèrent un surplus de volume de 30 à 50 m³/j soit 20 à 30% du volume de référence de la**

seule ville de MASSERET. Par pics de fréquentation nous entendons : les week-ends de juillet août, Pâques, Pentecôte, Toussaint, la semaine entre Noël et 1^{er} de l'an.

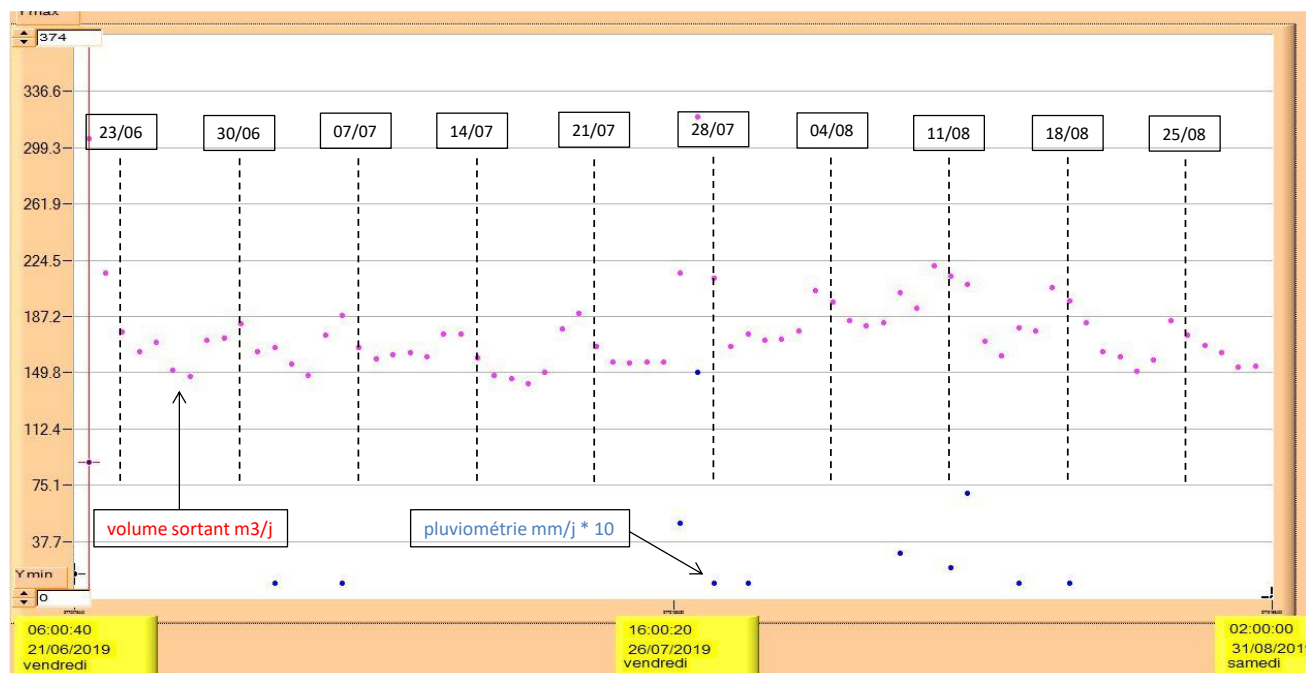


Figure 7 - Volume journalier sortant (m^3/j) et pluviométrie mesurée sur la station de MASSERET (mm/j ; échelle graphique $\times 10$) sur la période juillet - août 2019.

III.1.3. Les infiltrations d'eau de pluie

Comme indiqué sur la figure 5, tous les volumes entrants supérieurs ou égaux à $225 \text{ m}^3/\text{j}$ sont liés à une pluviométrie supérieure ou égale à $5 \text{ mm}/\text{j}$. Parmi ces volumes, notons dix-sept événements particuliers caractérisés par des volumes journaliers supérieurs ou égaux à $400 \text{ m}^3/\text{j}$ et résultant d'une pluviométrie $\geq 14 \text{ mm}/\text{j}$. Cinq de ces volumes sont égaux à **$560 \text{ m}^3/\text{j}$** et correspondent au volume journalier max mesuré sur cette station. La quasi-totalité de ces événements s'est produit pendant la période hivernale (et donc supposée pluvieuse) de mi-octobre à début mars.

En période hivernale, les rares périodes où la pluviométrie est moindre permettent d'établir un débit de base de l'ordre de $180 \text{ m}^3/\text{j}$. Etant donné qu'entre période sèche et pluvieuse il n'y aucune raison que le débit de référence de $150 \text{ m}^3/\text{j}$ change, cela suggère que pendant la période hivernale il y a en permanence et hors fortes précipitations des infiltrations d'eau parasite dans le réseau de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{j}$.

Sur la période Avril – Septembre, période plus "sèche", (voir les dates 15/3, 25/4, 26/7, 22/9, 14/10 figure 5) les données montrent des pluviométries comprises entre 12 et $15 \text{ mm}/\text{j}$ qui génèrent des volumes journaliers toujours inférieurs à $340 \text{ m}^3/\text{j}$.

Les débits entrant sur cette station dépendent fortement de la pluviométrie instantanée mais également du proche historique des chutes d'eau. Autrement dit, plus la période est perturbée et plus chaque pluie impacte significativement le volume entrant. Nous avons essayé de préciser ce point et pour cela nous nous sommes focalisé sur la période "sèche" printemps été 2019. Nous savons que le débit entrant sur cette station est aussi impacté par la fréquentation de l'aire d'autoroute. Par conséquent nous avons isolé les périodes présentant une pluviométrie significative ($\geq 9 \text{ mm}/\text{j}$) hors fin de semaine, départ en vacance et jour férié. Nous avons estimé l'apport d'eau exogène au réseau d'assainissement selon deux méthodes : une intégration directe du débit lorsque l'apport d'eau est bref (orage) ou une comparaison à un volume de référence lorsqu'il pleut

sur une durée plus longue. Ces deux méthodes sont détaillées en annexe – méthode d'estimation du débit capté par la station et associé à la pluviométrie.

A partir de ces méthodes, une corrélation entre pluviométrie (mm/j) et volume d'eaux infiltrées (m^3/j) a été approximée pour la période dite "sèche". Le premier jour d'un épisode pluvieux (arrivant après une période sèche), le débit d'eau infiltrée correspond à 7,7 et 9 m^3/mm eau de pluie/j d'eau. Si la pluie continue, les jours suivant, cette corrélation devient 11 à 16 $\text{m}^3/\text{mm}/\text{j}$. Ceci peut s'expliquer par une augmentation du ruissellement lié à un engorgement des sols.

En période fortement perturbée avec des chutes d'eau fréquentes et $\geq 10 \text{ mm/j}$, (exemple 3/11 ou 14/12) nous n'avons pas trouvé de relation cohérente entre précipitation et débit journalier. Ce qui est cependant certain c'est que le rapport entre pluviométrie (mm/j) et volume d'eaux infiltrées (m^3/j) est largement supérieur à 16 $\text{m}^3/\text{mm}/\text{j}$.

III.1.4 Identification du débit de pointe maximal

Nous avons recherché sur l'ensemble de la période les débits instantané maximum. C'est aux dates du 14/11, 3/11 et 22/12 2020 (voir Figure 8) que nous les avons trouvés. Ils sont la résultante d'une forte pluviométrie pendant une période déjà perturbée. Les débits instantanés maximaux mesurés sur cette station sont de l'ordre de **55 m^3/h** . Néanmoins, comme le montre la Figure 9, cette pointe de débit est très brève : elle dure environ 5 minutes.



Figure 8 – les 14/12/2019 et 22/12/2019, débit sortie enregistré, données brutes (m^3/h , vert),



Figure 9 – Zoom sur le pic de débit du 22/12/2019

III.1.5 Récapitulatif des contributions aux débits traités par la station

Le **Tableau 3** résume les contributions des eaux domestiques, des eaux de l'aire d'autoroute et des infiltrations aux débits volumiques traités par la station. Les infiltrations ont un impact très important et souligne le caractère non séparatif du réseau d'assainissement. Les périodes de forte pluie peuvent multiplier par 2 ou par 3 le débit journalier. Le débit journalier associé à la ville de MASSERET plus un fonctionnement minimal de l'aire d'autoroute est estimé au voisinage de 150 m³/j. L'aire d'autoroute génère des pics de débits de 30 à 50 m³/j pendant les périodes de fréquentation liés aux congés. Ceux sont des infiltrations en période hivernale qui élargissent la gamme de débit pouvant atteindre jusqu'à 560 m³/j.

Ces chiffres sont à comparer avec les données du constructeur (voir annexe) :

- Débit journalier : 315 m³/j
- Débit de pointe par temps sec : 27 m³/h
- Débit de pointe par temps de pluie : 100 m³/h

On peut remarquer que le débit de de pointe par temps de pluie maximal mesuré sur l'année 2019 (55 m³/h) est nettement inférieur à celui admissible par la station (100 m³/h).

Tableau 3 - Récapitulatif des volumes journaliers entrant sur la station de MASSERET : Impact de la pluviométrie et de l'aire d'autoroute. Période : année 2019

	période hivernale (novembre - février)	période sèche (mars - octobre)
volume de référence	180 - 200 m ³ /j	145 - 155 m ³ /j
plage de volume	180 - 350 m ³ /j	145 - 200 m ³ /j
volume max	560 m ³ /j	360 m ³ /j
contribution aire d'autoroute		+ 30 à 50 m ³ /j (soit + 20 - 30 %)
pluviométrie		+ 8 m ³ /mm (1 ^{ier} jour)
		+ 13 m ³ /mm (jours suivants)
débit instantané de pointe	55 m ³ /h	

III.2 Charge polluante

Nous nous intéressons ici à la charge polluante entrant dans la station. Pour cela, nous nous appuyons sur les bilans 24h effectués par l'OIEAU et les bilans 24h hebdomadaires effectués par l'exploitant (**Tableau 4**).

Remarque : A partir de la fin du mois de juillet, l'exploitant a systématiquement réalisé les bilans le dimanche. Pour rappel, l'exploitant doit réaliser un bilan par semaine. Le dimanche est le jour le plus intéressant pour le suivi du fonctionnement de la station car il termine le week-end, période la plus critique de la semaine. Autrement dit, un dysfonctionnement de la station le samedi et/ou le dimanche doit se voir le dimanche. Techniquement, les prélèvements entrée et sortie sont asservis au débitmètre de sortie. 60 ml d'eau sont prélevés tous les 1000 Litres et mélangés dans un bidon réfrigéré à 4°C.

Attention, les données azote sont exprimées en N-NH₄ et non en NTK car dans tous ces bilans, l'exploitant ne mesure que l'azote ammoniacal (NH₄). Par suite, les charges en NTK seront obtenues en considérant un rapport NTK/NH₄ de 1,3. Cette valeur a été validée à partir des bilans détaillés de l'OIEAU.

Tableau 4 - Bilans 24 h effectués par l'exploitant et l'OIEAU sur la période étudiée : en bleu effectués par l'OIEAU (rapport détaillé).

		DCOe mg/l	N_NH4e mg/l	PO4e mg/l	Vol. sortant m ³ /j	pluie mm/j	Charge DCO Kg/j	Charge NH4 Kg/j
mercredi	01/05/2019	723	30		177	0	128.0	5.3
lundi	06/05/2019	1 887	92		185	0	349.1	17.0
lundi	13/05/2019	610	49		182	0	111.0	8.9
dimanche	19/05/2019	2 253	87		187	0	421.3	16.3
jeudi (ascension)	30/05/2019	1 990	144		175	0	348.3	25.2
lundi	03/06/2019	809	108		159	0	128.6	17.2
mercredi	12/06/2019	482	61		225	4	108.5	13.7
lundi	24/06/2019	908	109		163	0	148.0	17.8
lundi	01/07/2019	980	97		163	0	159.7	15.8
<i>dimanche</i>	<i>14/07/2019</i>	<i>615</i>	<i>105</i>		<i>144</i>	<i>0</i>	<i>88.6</i>	<i>15.1</i>
lundi	22/07/2019	713	113		156	0	111.2	17.6
mercredi	24/07/2019	747	80		157	0	117.3	12.6
dimanche	28/07/2019	1 796	84		212	1	380.8	17.8
dimanche	04/08/2019	803	141		197	0	158.2	27.8
<i>lundi</i>	<i>05/08/2019</i>	<i>1195</i>	<i>133</i>		<i>168</i>	<i>0</i>	<i>200.8</i>	<i>22.3</i>
dimanche	11/08/2019	1 191	151		214	0	254.9	32.3
dimanche	18/08/2019	2 140	178		197	0	421.6	35.1
<i>mercredi</i>	<i>21/08/2019</i>	<i>855</i>	<i>118</i>		<i>146</i>	<i>0</i>	<i>124.8</i>	<i>17.2</i>
dimanche	25/08/2019	1 770	136		175	0	309.8	23.8
mardi	01/10/2019	498	79.4		103	0	51.3	8.2
dimanche	06/10/2019	727	75.3		110	2	80.0	8.3
lundi	14/10/2019	338	22.2		152	14	51.4	3.4
lundi	21/10/2019	145	41.7		394	15	57.1	16.4
dimanche	27/10/2019	953	137		190	0	181.1	26.0
dimanche	03/11/2019	904	17.6		423	17	382.4	7.4
lundi	11/11/2019	241	50.8		281	1	67.7	14.3
mercredi	20/11/2019	132	32.2		237	0	31.3	7.6
mardi	26/11/2019	220	61.4	5.92	211	2	46.4	13.0
mercredi	04/12/2019	272	27.7		221	0	60.1	6.1
lundi	09/12/2019	357	37.4		322	9	115.0	12.0
mercredi	18/12/2019	124	26.4		333	1	41.3	8.8
mercredi	25/12/2019	230	27.7		429	0	98.7	11.9
dimanche	29/12/2019	989	80.8	10.3	303	0	299.7	24.5
<i>mercredi</i>	<i>01/01/2020</i>	<i>700</i>	<i>42.3</i>	<i>5.28</i>	<i>241</i>	<i>0</i>	<i>168.7</i>	<i>10.2</i>
jeudi	09/01/2020	612	59.5		201	0	123.0	12.0
mercredi	15/01/2020	461	44.8		209		96.3	9.4
lundi	20/01/2020	980	63.2	10.9	170	4	166.6	10.7
lundi	27/01/2020	750	47.8		180	0	135.0	8.6
dimanche	02/02/2020	311	42.7		178	0	55.4	7.6
mardi	11/02/2020	514	71.5	11	188	0	96.6	13.4
mercredi	04/03/2020	322	37.1		191	0	61.5	7.1
mardi	14/04/2020	2020	70.7		103	0	208.1	7.3
lundi	19/04/2020	1180	58.5		116	0	136.9	6.8
lundi	26/04/2020	782	54.7		137	0	107.1	7.5

Les évolutions des charges DCO et NH₄ sont tracées sur la Figure 10.

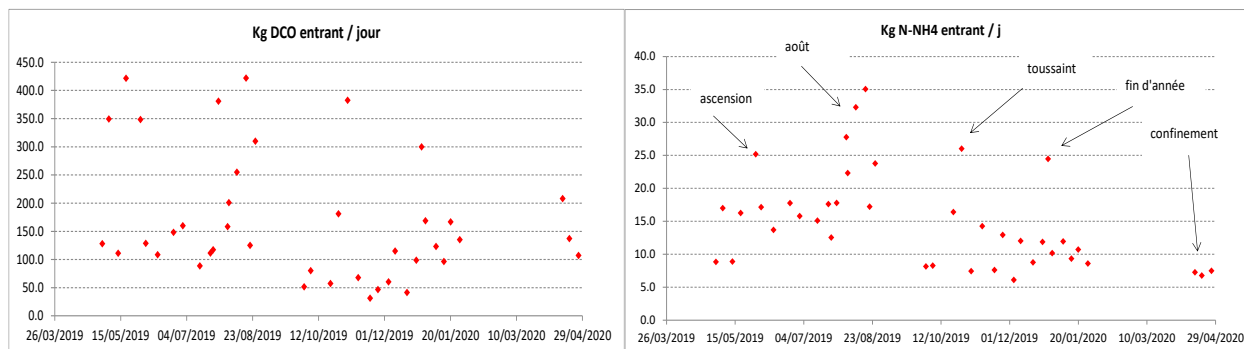


Figure 10 - Charge organique et azotée traitée par la station sur la période étudiée.

(Données extraites du tableau 4 ci-dessus).

Concernant l'évolution de la charge azotée, nous pouvons tirer trois enseignements :

➤ Comme pour l'étude des débits entrant, la période de confinement nous permet de caractériser avec précision la charge azotée imputable à la seule ville de MASSERET. Cette charge est de **7,5 Kg N-NH₄/j** ou **9,75 Kg NTK/j**. Notons que ce résultat est cohérent avec la population de MASSERET (≈ 700 habitants) et la production d'azote par habitant et par jour communément admise 15 g NTK/Eqhab/j. Soit $700 \times 15 = 10,5 \text{ KgNTK/j}$.

Toutes les charges supérieures à 7,5 Kg N-NH₄/j ou 9,75 kgNTK/j seront directement imputables à l'aire d'autoroute.

➤ Il est particulièrement intéressant de constater, sur la figure 10, **6 pics** caractéristiques à environ 25 Kg N-NH₄/j correspondant aux périodes de l'Ascension, W.E. d'Août, Toussaint & fêtes de fin d'année.

Cette charge de 25 Kg N-NH₄/j apparait donc comme une constante à chaque date festive occasionnant un flux important de population au niveau de l'aire d'autoroute : W.E. Toussaint, fêtes de fin d'année, Pâques, Ascension, 14 Juillet...

➤ Notre stratégie de bilans tous les dimanches d'Août a sans doute permis d'identifier la charge azotée la plus importante reçue par la station : **35,1 Kg N-NH₄/j** le 18 août (45 NTK/j). Notons qu'il s'agit **d'un à-coup de charge** puisque le mercredi 21 août la charge azotée était redescendue à 17,2 Kg N-NH₄/j (22 NTK/j).

Remarque : au-delà de 31,5 Kg NTK/j, la capacité nominale théorique de la station est dépassée (voir document constructeur en annexe 7).

Concernant l'évolution de la charge organique, nous pouvons extraire les éléments suivants :

➤ La période de confinement nous permet de caractériser la charge organique imputable à la seule ville de MASSERET. Cette charge est d'environ 110 Kg DCO/j. Ce résultat est cohérent avec la population de MASSERET (700 habitants) et la production de DCO par habitant et par jour communément admise 135 gDCO/Eqhab/j. Soit $700 \times 135 = 94,5 \text{ Kg/j}$.

Toutes les charges supérieures à 110 Kg DCO/j seront directement imputables à l'aire d'autoroute.

Remarque : Les quelques valeurs inférieures à cette charge de référence ont été mesurées en période hivernale et sont difficilement explicables.

➤ Notons sur la figure 10, **6 pics** caractéristiques largement compris entre à 350 et 400 Kg DCO/j. Comme on pouvait s'y attendre, ces bilans ont été effectués pendant les périodes de l'Ascension, W.E. d'Août, Toussaint & fêtes de fin d'année.

Remarque : Ces six valeurs seront tout de même à confirmer par de nouveaux résultats, car elles dépassent largement la capacité de la station (252 kg DCO/j voir document constructeur en annexe 7).

Au final, le **Tableau 5** résume les gammes de charges polluantes observées sur l'année 2019

Tableau 5 : Récapitulatif des charges entrantes supplémentaires associées à l'aire d'autoroute (estimées sur l'année 2019).

			fréquentation haute	fréquentation maximale
	ligne de base	fréquentation moyenne	de l'aire d'autoroute	de l'aire d'autoroute
	MASSERET seule	de l'aire d'autoroute	jours festifs	W.E. Août
kg DCO / j	110	+ (0 à 50)	+ (40 à 190)	+ (190 à ...)
Kg N-NH4 / j	7,5	+ (0 à 10)	+ 17,5	+ (7,5 à 27.5)
Kg NTK / j	9.75	+ (0 à 13)	+ 22,75	+ (9,75 à 35,75)

IV. La température

La température dans le bassin biologique est un paramètre déterminant car elle influe indirectement sur la gestion de la station. La température impacte à la fois le transfert d'oxygène assuré par les aérateurs (en lien avec la solubilité de l'oxygène dans l'eau) et l'activité intrinsèque des micro-organismes épurateurs. Une augmentation de la température favorise l'activité biologique mais diminue la capacité d'oxygénation du milieu et inversement quand elle diminue.

Sur la Figure 11 est tracée l'évolution de la température dans le bassin biologique de MASSERET de mi-décembre 2018 à avril 2020. Une lecture rapide de ces données montre une amplitude annuelle importante de la température qui varie de 8,3°C au plus froid de l'hiver à 25°C en plein été. Cette variation très significative va impliquer des réglages différents entre été et hiver. Une variation de température de 10 °C entraîne une variation d'un facteur 2 de la capacité épuratoire d'une boue. Par conséquent, le maintien d'une capacité épuratoire maximale en toute saison passera par un ajustement du taux de boue. En hiver, compte tenu de l'effet combiné température et pic de charge dans les périodes de congés, il sera nécessaire d'augmenter le taux de boue. Ce point sera précisé plus loin dans une partie dédiée à la gestion du taux de boue.



Figure 11 – Température enregistrée dans le bassin d'aération de la station de MASSERET sur la période décembre 2018 -- avril 2020

V. Fonctionnement de la station et actions d'optimisation

Sur une année, la capacité épuratoire de la station doit s'adapter d'une part à une forte amplitude de température qui affecte activité microbienne et capacité d'oxygénation, et d'autre part, à des charges de pollution très variables du fait du raccordement de l'aire d'autoroute. A partir de l'analyse précédente, il est possible de définir 3 situations discriminées par les températures et les niveaux de pollution à traiter. Soyons clair, le terme niveau de pollution pourrait être remplacé par intensité de fréquentation de l'aire d'autoroute.

- **État 1** : cet état correspond à une période dite "normale" : les températures sont comprises entre 11 et 20°C. La charge se compose des eaux domestiques de la Ville de MASSERET et des eaux provenant de l'aire d'autoroute dont la plage de fréquentation va **de faible à élevée**. Néanmoins, la fréquentation élevée de l'aire d'autoroute est toujours de courte durée, 2 à 3 jours maximum. Il s'agit de W.E. prolongés (Pâques, 1^{er} mai, Pentecôte, Toussaint ...). La station doit s'adapter très rapidement à des pics de pollutions azotées très importants (25 Kg N₂-NH₄/j) mais de courtes durées.
- **État 2** : cette situation correspond à la période des fêtes de fin d'année. Des températures inférieures à 11 °C se combinent avec une fréquentation de l'aire d'autoroute **élevée** qui se prolonge pendant toute la durée des vacances scolaires.
- **État 3** : il s'agit de la période estivale, de mi-Juillet à fin Août. Il se caractérise par une fréquentation de l'aire d'autoroute **élevée à maximale** qui se prolonge quasiment pendant toute la durée des vacances scolaires.

Le diagnostic initial sur le fonctionnement de la station a été réalisé sur la première partie de l'étude entre le 20 décembre 2018 et le 10 mars 2019. C'est une période pour laquelle les températures sont restées inférieures à 11°C. Les conclusions étaient les suivantes :

- La plupart du temps, en période dite "normale", cette station fonctionne correctement. Les bilans de contrôle officiels et auto contrôle en attestent. Ceci étant dit, cette station reçoit d'importants à coups de charge (surtout azotée) et notamment pendant toute la durée des fêtes de fin d'année. Ces pics de fréquentation de l'aire d'autoroute provoquent systématiquement une accumulation rapide de nitrates. Cette accumulation se prolonge à des niveaux importants ($\approx 30 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$) si l'à coup de charge perdure au-delà du week-end (cas de la semaine entre Noël et le 1^{er} de l'an). Ce comportement s'explique par des vitesses de dénitrification systématiquement inférieures de 2 mg N/l.h aux vitesses de nitrification qui restent élevées ($5 - 6 \text{ mg N/l.h}$) même à des températures inférieures à 9°C. Cette différence entre les vitesses de nitrification et dénitrification s'explique par la nature de l'effluent issu de l'aire d'autoroute, effluent très déséquilibré qui ne contient pas assez de carbone organique rapidement assimilable pour assurer une dénitrification rapide.
- Nous avons aussi constaté que la gestion de l'aération basée sur des seuils rédox fonctionnait mais n'était pas la plus pertinente sur cette station.
- Nous avons noté une concentration en boue très élevée de l'ordre de 9 g/L ($9,8 \text{ g/l}$ lors du *Diagnostic général du 04/01/2019 J. Louchard*). Ce taux de boue permet de compenser la perte d'activité liée aux basses températures. Les boues activées, à plus de 9 g MES/l , sont largement au-delà des valeurs maximales de $4 \text{ à } 5 \text{ g MES/l}$ généralement recommandées en situation "nominale" d'hiver (STEU recevant 100 % de la charge polluante – température

des boues en dessous de 12°C). Néanmoins, l'indice de boue (< 140 ml/g) reste tout à fait acceptable et tout à fait compatible avec le clarificateur en place (très faible fuite de MES). La microfaune observée au microscope est extrêmement réduite en termes d'abondance et de diversité. Au vu des caractéristiques des flottants observés en surface du bassin d'aération et de l'examen microscopique révélant la présence du filament *Microthrix*, la présence de mousses biologiques est avérée mais en quantité limitée (faible taux de couverture sur 20 % de la surface avec une faible épaisseur) sans préjudice notable sur le comportement de la clarification. Le moussage n'est pas alarmant et le recours actuel à l'aluminate de soude pour assurer la déphosphatation chimique simultanée apparaît déterminant. En effet, les réactifs à base d'aluminium sont aujourd'hui reconnus pour leur effet 'antiMicrothrix', ce qui n'est le cas du chlorure ferrique. Ces observations montrent que dans ces conditions le maintien d'un taux de boue élevé est possible sans risquer de détériorer significativement les aptitudes à la décantation des floccs bactériens.

- Objectivement, sur cette période, la station répondait à ces objectifs de traitement car il n'y a pas de contraintes sur les nitrates. Cependant cette situation n'était évidemment pas pérenne car avec de tel niveau de nitrate, l'exploitant s'expose à un départ important de boue causant une grave détérioration de la qualité du traitement. D'autre part, nous pouvions présager une situation très compliquée à gérer pendant le mois d'août.

Nous avons donc décidé d'agir sur trois axes :

- Optimiser autant que possible la gestion de l'aération
- Mettre en place un ajout d'acide acétique pour "doper" la dénitrification quand nécessaire
- Mettre en place une gestion rigoureuse de la concentration en boue dans le bassin biologique pour conserver la capacité épuratoire quelle que soit la température.

Ce travail a conduit à un jeu de consignes pour chacun des 3 états décrits précédemment. Cette nouvelle gestion de la station a été testée et validée entre avril 2019 et avril 2020.

V.1 Optimisation du syncopage de l'aération

Le premier objectif a été d'optimiser autant que possible l'alternance des phases aérées et non aérées (et par conséquence le traitement de l'azote). C'est un point clé. Quelles que soient les circonstances, l'objectif est d'aérer un minimum pour éliminer l'ammonium tout en laissant un maximum de phase non aérée pour traiter les nitrates. **Point très important : la priorité est toujours donnée à la nitrification !**

La procédure de gestion des aérateurs implantée dans l'automate offre les possibilités suivantes :

En phase aérée, l'aération est coupée si :

[([O₂] > seuil O₂ ou rédox > seuil rédox) et durée aération > tempo min aération] ou (durée aération > tempo max aération)

En phase non aérée, l'aération redémarre si :

[(rédox < seuil rédox et durée non aération > tempo min non aération)] ou (durée non aération > tempo max non aération)

Fonctionnalité supplémentaire :

En phase non aérée, si l'aération a été coupée sur le critère **tempo max aération**, la durée de non aération suivante est : **tempo non aération si arrêt aération sur tempo max**

Remarque : dans notre approche, le paramètre **rédox** n'a jamais été utilisé !

La Figure 12 illustre le principe de gestion de l'aération que nous avons mis en place. Il permet d'ajuster précisément la durée d'aération à la charge azotée :

★ Dans les cas de forte charge azotée, le **seuil O₂** n'est jamais atteint et la station fonctionne sur une cadence de : **tempo max aération / tempo non aération si arrêt aération sur tempo max**.

★ Dans tous les autres cas (charges intermédiaires), après une aération minimale de **tempo min aération**, l'aération est coupée lorsque le **seuil O₂** est atteint. La durée de non aération suivante est égale à **tempo max non aération**.

En phase aérée, les 2 paramètres **seuil O₂** & **tempo max aération** jouent le rôle de switch entre les 2 états de charge.

Au final l'exploitant doit fixer 5 paramètres. Dans la partie du rapport "traitement de l'azote", nous préconisons les paramétrages pour toutes les périodes de l'année. Lors de la construction du programme d'étude, nous avons envisagé et matériellement prévu d'utiliser INFLEX pour gérer l'aération. En pratique, l'utilisation judicieuse de toutes les possibilités offertes par l'automate pour la gestion de l'aération nous a donné pleine satisfaction. Au final, la gestion de l'aération est moins souple que celle piloté par INFLEX mais permet d'éviter un investissement à la commune.

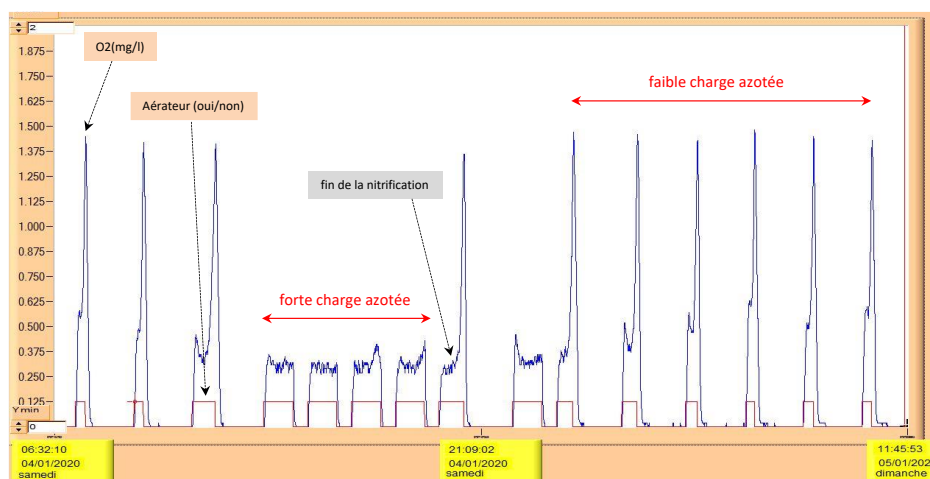


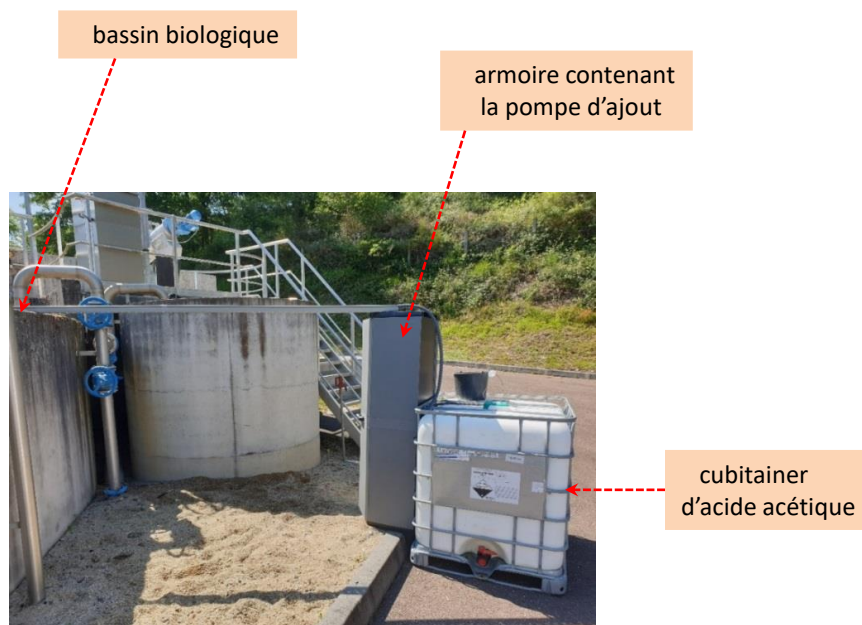
Figure 12 - Exemple de gestion de l'aération par l'automate du site

V.2 Ajout d'acide acétique pour la dénitrification

Nous avons montré dans la première phase de notre étude (phase d'observation) que l'effluent provenant de l'aire d'autoroute est déséquilibré. Le rapport Carbone/Azote est trop faible et ne permet pas d'obtenir des vitesses de dénitrification suffisantes pour traiter l'azote dans son intégralité. Pour améliorer la dénitrification (traitement des nitrates) pendant les épisodes de charges élevées à exceptionnelles, nous avons mis en place un ajout de carbone secondaire en l'occurrence de l'acide acétique.

Concrètement, un cubitainer de 1000 L d'acide acétique à 80% a été placé à proximité du bassin d'aération ([Figure 13](#)). La pompe est située dans l'armoire jouxtant le cubitainer. L'acide est ajouté directement dans le bassin d'aération ou biologique.

Figure 13 - Photographie du dispositif d'ajout d'acide acétique



Un algorithme de pilotage de la pompe d'ajout d'acide acétique a été développé et validé. Il se compose de 5 paramètres à renseigner :

5 Variables :

actif (oui/non)

début intervalle ajout : date début ajouts (jour,mois,an) , heure début ajouts (heure,min)

fin intervalle ajout : Date fin ajouts (jour,mois,an), heure fin ajouts (heure,min)

[O2]_{seuil} (mg/l)

durée fonctionnement pompe acide acétique (min)

Procédure :

Si ((**actif** = oui) & (**début intervalle ajout** < temps actuel < **fin intervalle ajout**))

 Lorsque ((aération coupée) & ([O2] <= **[O2]_{seuil}**))

 Actionner une fois la pompe d'ajout d'acide acétique pendant **Durée fonctionnement pompe acide acétique**

Littéralement, si l'on active les ajouts, dans l'intervalle d'ajout, à chaque cycle de non aération, la pompe d'ajout d'acide acétique fonctionne 1 fois pendant un temps défini (minutes) à partir du moment où la [O2] <= [O2]_{seuil}. Cette procédure devra être codée dans l'automate de la station.

Au cours de cette étude, la gestion des ajouts de carbone secondaire était effectuée à distance par le dispositif Eperf. Un exemple de fonctionnement est présenté la [Figure 14](#). L'utilisation de cette

nouvelle fonctionnalité est souple simple et lisible pour l'exploitant. Par exemple, au courant du mois de Mai, lors d'un de ces passages sur la station, l'exploitant pourra programmer des ajouts de carbone pour les 2 ou 3 jours qui correspondront au Week-End de l'Ascension. De même, lors d'un passage sur site, si l'exploitant constate la présence de NO_3 , il pourra programmer quelques cycles d'ajout d'acide acétique. Dans l'annexe "estimation de la vitesse de dénitrification et des consommations d'acide acétique", nous préconisons les quantités d'acide acétique pour chaque période de l'année.

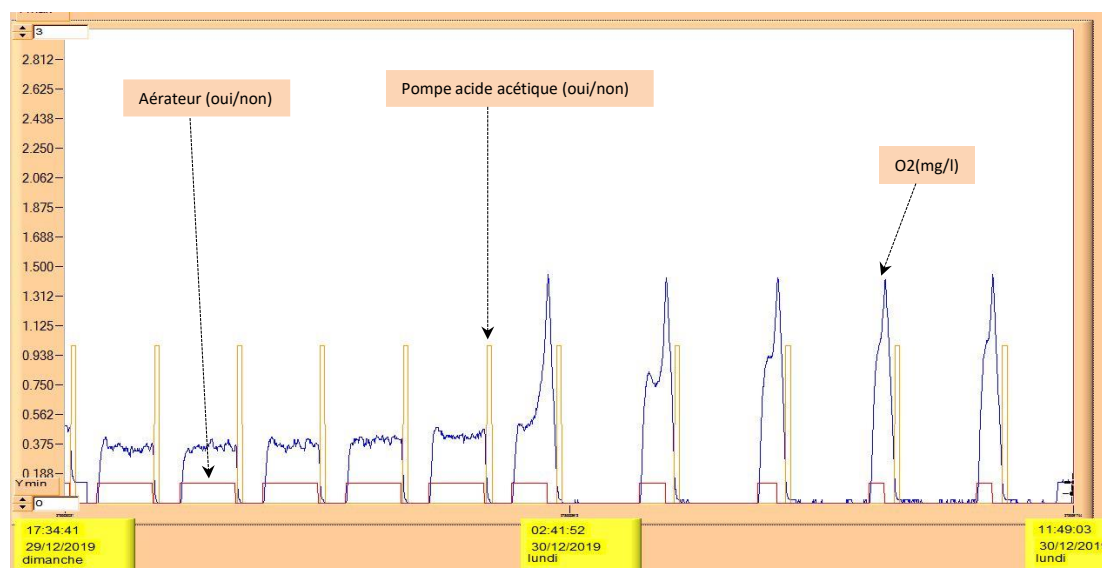


Figure 14 - Exemple de pilotage d'ajout d'acide acétique.

V.3 Gestion du taux de boue

Le taux de boue ou concentration en matière en suspension ([MES]) est d'ordinaire un paramètre d'exploitation important puisqu'il détermine la capacité d'épuration de la station. Sur la station de MASSERET nous le qualifierons d'extrêmement sensible car il se conjugue avec une forte amplitude de température, des charges azotées dépassant en pointe la capacité nominale de la station et enfin une capacité d'oxygénation limitante pendant la période estivale.

La stratégie globale de gestion de ce paramètre est la suivante :

- En hiver (et notamment pendant la période des fêtes de fin d'année), températures basses et pollution azotée très importante nous obligent à travailler à un taux de boue avoisinant 7 g/l pour conserver une capacité biologique maximale. C'est illustré par la [Figure 15](#) qui montre un maintien voire une augmentation de l'activité nitrifiante alors que la température chute de 22 °C à 9 °C.
- En été, au contraire, il est impératif que le taux de boue ne dépasse pas 4 g/l. Nous préconisons même un taux de boue proche de 3 g/l. Pendant cette période, des températures supérieures à 22 °C et des pics de charges azotées extrêmes (32 à 35 Kg N_{NH_4} /j en pointe) maintiennent l'activité biologique intrinsèque à des niveaux très élevés. La problématique pendant cette période est donc de limiter impérativement la concentration

en boue pour éviter autant que possible une limitation de l'activité nitrifiante par l'oxygène. Ce point crucial pour cette station sera repris dans la partie "capacité de la station".

A partir du mois d'avril 2019, en concertation avec l'exploitant, nous avons porté une attention particulière à la gestion du taux de boue. La Figure 16 montre l'évolution du taux de boue entre Avril 2019 et Mai 2020. Elle illustre la stratégie globale de gestion de ce paramètre énoncée en introduction. Les résultats d'épuration obtenus confirment le bien-fondé de cette stratégie et nous préconisons de l'appliquer pour les années futures.

Remarque : sur ce site, la [MES] est réglée par purge directe des boues au niveau du bassin biologique vers le lit de séchage planté de roseaux. A titre d'exemple, les volumes d'extraction varient de 4 m³/j en hiver à 12 m³/j en été. **Le pilotage du taux de boue est délicat et requiert de la part de l'exploitant une excellente connaissance et maîtrise de son process.**

Cette stratégie de gestion du taux de MES a été également validée vis-à-vis de la stabilité biologique de la boue et de l'adéquation entre ses propriétés de sédimentation et la capacité du clarificateur. L'OIEau a effectivement suivi la qualité de la boue tout au long de l'expérimentation et les conclusions sont :

- Les valeurs d'indice de boue, oscillant de 85 à 134 ml/g, témoignent d'une décantabilité stable et efficace. Cette stabilité autorise à se projeter, hors incident particuliers, au voisinage de valeurs parfaitement maîtrisables de l'ordre de 120 ml/gMES. Le débit de pointe constaté en sortie de clarificateur n'a jamais dépassé 45 m³/heure (excepté quelques pics à 55 m³/h pendant 5 minutes !!!) soit une vitesse ascensionnelle maximale de 0,5 m/h. La maîtrise de la clarification oblige à contenir la valeur du V30 corrigé à un maximum de 840 ml/l. Sous réserve de la préservation d'un bon indice de boue à 120ml/g MES, cela correspond à une concentration maximale souhaitable de 7 g MES/L qu'il convient donc de ne pas dépasser durablement. En pratique, aucune fuite de MES n'a été observée pendant les périodes de forts débit (pluie) et de teneur en MES élevée. La teneur en MES_{sortie} est toujours restée très basse.
- L'évolution de l'indice filamenteux, allant de 3 – 4 sur la première période de suivi hivernal en 2019, pour se stabiliser ensuite à des valeurs de 2 – 3 (y compris lors de l'hiver 2020) atteste de la bonne qualité biologique et de l'absence de risque de bulking (hors incident particuliers d'exploitation). La période de forte charge polluante sur le mois d'août, sur laquelle des difficultés d'oxygénation ont pu être constatées, n'a pas eu d'incidence significative sur la qualité des boues activées.
- La présence de mousses biologiques liée à Microthrix est régulièrement observée mais sans incidence sur la clarification. Elle se limite en surface du seul dégazeur en période de faibles taux de boues activées mais tend à s'étendre en surface du bassin d'aération et du clarificateur dès lors que les taux de boues activées augmentent. La maîtrise de cette difficulté milite en faveur du maintien de l'aluminate de soude et pour la gestion d'un enlèvement quotidien de ces flottants via une vidange quotidienne du puits à boue.

Au final, nous préconisons une gestion de la [MES] sur le modèle présenté dans le Tableau 6. Après avoir atteint un palier haut au voisinage de 7g/l les mois d'hiver (de mi-décembre à mi-mars), nous préconisons de stabiliser la [MES] à 5 g/l au printemps puis atteindre un minimum au voisinage de 3 g/l de mi-juillet à fin août. **Surtout ne pas dépasser les 4 g/l au mois d'août.**

Tableau 6 - Modèle de gestion de la [MES]_{bassin biologique} sur l'année.

	15 décembre ↔ 15 mars		15 juillet ↔ 15 septembre	
[MES] g/l	≈ 7	↘	≈ 3	↗

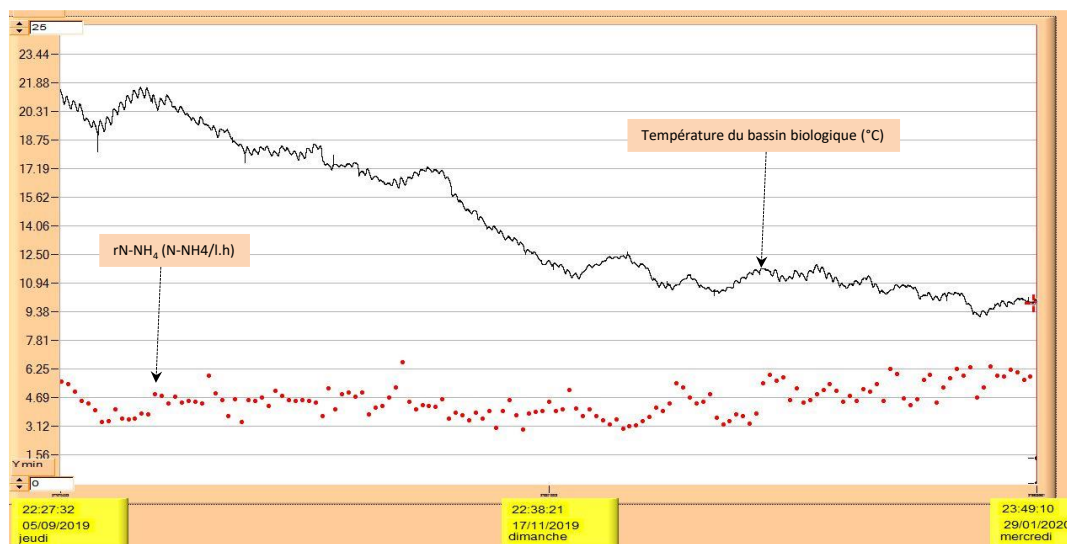


Figure 15 – Estimation des vitesses de nitrification & température du bassin biologique sur la période septembre 2019 – janvier 2020

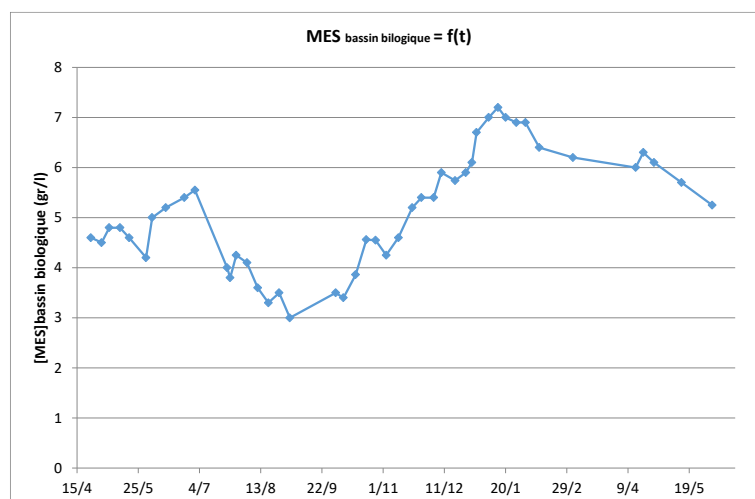


Figure 16 – Evolution de la [MES] entre Avril 2019 et Mai 2020

VI. Performances de la station

Pour estimer les performances de la station de MASSERET, nous nous sommes essentiellement basé sur les bilans 24h effectués par l'OIEAU et les bilans 24h effectués hebdomadaire par l'exploitant. Les résultats de ces bilans sont rassemblés dans le Tableau 7 ci-dessous. Celui-ci présente tous les résultats de traitement globaux obtenus sur la période Mai 2019 – Avril 2020 : bilans effectués par l'exploitant et l'OIEAU. C'est sur cette période que les réglages (aération, apport d'acide acétique, taux de boue, dosage aluminat de soude) ont été testés et validés vis-à-vis des traitements de la DCO, de l'azote et du phosphore.

Tableau 7 - récapitulatif des bilans 24 h effectués par l'exploitant et l'OIEAU (bleu) sur la période Mai 2019 – Mai 2020. Les bilans effectués par l'OIEAU sont indiqués en bleu et ont fait l'objet de rapports individuels détaillés.

		DCOe mg/l	N_NH4e mg/l	PO4e mg/l	Vol. sortant m ³ /j	pluie mm/j	Charge DCO Kg/j	Charge NH4 Kg/j	DCOs mg/l	N_NH4s mg/l	N_NO3s mg/l	P-PO4s mg/l
mercredi	01/05/2019	723	30		177	0	128.0	5.3	30.2	0.31	20.3	2.31
lundi	06/05/2019	1 887	92		185	0	349.1	17.0	26.4	0.78	12.5	1.41
lundi	13/05/2019	610	49		182	0	111.0	8.9	26.5	0.4	12.4	3.24
dimanche	19/05/2019	2 253	87		187	0	421.3	16.3	26.1	0.2	4.79	5.3
jeudi (ascension)	30/05/2019	1 990	144		175	0	348.3	25.2	25.9	0.43	2.58	1.32
lundi	03/06/2019	809	108		159	0	128.6	17.2	24	1.81	4.05	1.02
mercredi	12/06/2019	482	61		225	4	108.5	13.7	20.5	1.02	10.8	0.88
lundi	24/06/2019	908	109		163	0	148.0	17.8	23.2	0.29	2.87	0.85
lundi	01/07/2019	980	97		163	0	159.7	15.8	20.3	0.66	8.84	0.3
dimanche	14/07/2019	615	105		144	0	88.6	15.1	28	1.4	20.3	0.46
lundi	22/07/2019	713	113		156	0	111.2	17.6	29.1	1.55	1.31	0.42
mercredi	24/07/2019	747	80		157	0	117.3	12.6	29.1	0.13	10.5	0.74
dimanche	28/07/2019	1 796	84		212	1	380.8	17.8	30.5	5.12	1.09	1.25
dimanche	04/08/2019	803	141		197	0	158.2	27.8	26.6	5.21	1.98	0.96
lundi	05/08/2019	1195	133		168	0	200.8	22.3	32.2	3.52	1.43	0.45
dimanche	11/08/2019	1 191	151		214	0	254.9	32.3	25.1	1.12	6.51	0.62
dimanche	18/08/2019	2 140	178		197	0	421.6	35.1	26.8	2	10.9	0.73
mercredi	21/08/2019	855	118		146	0	124.8	17.2	32	0.9	8.4	0.41
dimanche	25/08/2019	1 770	136		175	0	309.8	23.8	20.3	0.32	39.7	0.61
mardi	01/10/2019	498	79.4		103	0	51.3	8.2	21.3	0.07	1.42	0.449
dimanche	06/10/2019	727	75.3		110	2	80.0	8.3	21	0.44	1.37	0.5
lundi	14/10/2019	338	22.2		152	14	51.4	3.4	22.2	0.26	3.05	0.35
lundi	21/10/2019	145	41.7		394	15	57.1	16.4	17.5	0.64	17.6	0.32
dimanche	27/10/2019	953	137		190	0	181.1	26.0	15	1.52	12.2	0.37
dimanche	03/11/2019	904	17.6		423	17	382.4	7.4	26.3	0.64	18.2	0.25
lundi	11/11/2019	241	50.8		281	1	67.7	14.3	17.9	0.33	8.08	0.31
mercredi	20/11/2019	132	32.2		237	0	31.3	7.6	18.2	0.31	1.61	0.58
mardi	26/11/2019	220	61.4	5.92	211	2	46.4	13.0	16.8	0.31	1.24	0.39
mercredi	04/12/2019	272	27.7		221	0	60.1	6.1	16.3	1.5	1.22	0.64
lundi	09/12/2019	357	37.4		322	9	115.0	12.0	19.8	0.37	1.21	0.44
mercredi	18/12/2019	124	26.4		333	1	41.3	8.8	14.5	0.17	1.41	0.37
mercredi	25/12/2019	230	27.7		429	0	98.7	11.9	17.5	1.24	3.48	0.38
dimanche	29/12/2019	989	80.8	10.3	303	0	299.7	24.5	16.2	1.63	9.17	0.24
mercredi	01/01/2020	700	42.3	5.28	241	0	168.7	10.2	29.9	0.5	3.2	0.17
jeudi	09/01/2020	612	59.5		201	0	123.0	12.0	21.4	0.22	0.47	0.28
mercredi	15/01/2020	461	44.8		209		96.3	9.4	25.4	0.268	0.64	0.643
lundi	20/01/2020	980	63.2	10.9	170	4	166.6	10.7	25.3	0.289	1.7	0.89
lundi	27/01/2020	750	47.8		180	0	135.0	8.6	26.5	0.286	1.6	1.69
dimanche	02/02/2020	311	42.7		178	0	55.4	7.6	19.2	0.22	1.55	1.73
mardi	11/02/2020	514	71.5	11	188	0	96.6	13.4	27.7	0.21	1.32	2.38
mercredi	04/03/2020	322	37.1		191	0	61.5	7.1	34.3	0.24	1.29	1.57
mardi	14/04/2020	2020	70.7		103	0	208.1	7.3	26.5	0.08	0.7	2.58
lundi	19/04/2020	1180	58.5		116	0	136.9	6.8	25.9	0.1	0.6	1.86
lundi	26/04/2020	782	54.7		137	0	107.1	7.5	19.5	0.1	0.45	0.86

VI.1 Traitement de la DCO

Nul besoin d'épiloguer sur le paramètre DCO : avec un maximum sur l'année de 34,3 mg DCO_{sortie}/l (le 04/03/2020) les valeurs de DCO_{sorties} sont toutes largement inférieures au seuil normatif le plus contraignant : 60 mg DCO/l (seuil en vigueur pendant la période d'étiage). La station de MASSERET remplit donc parfaitement bien ces objectifs de traitement de la pollution carbonée.

VI.2 Traitement de l'azote

L'amplitude de température et le profil variable mais prévisible des charges à traiter ont conduit à proposer un paramétrage de l'automate de pilotage et une stratégie de conduite (taux de MES et acide acétique) propres à 3 périodes de l'année bien définies. Ces périodes se distinguent par la température (hiver/été) et par la fréquence et la durée des pics de charge (tourisme). Il n'est pas possible de proposer un paramétrage unique de l'aération valable tout au long de l'année.

Les paramètres de l'automate sont un seuil de concentration d'oxygène (*seuil O₂*) et quatre temporisations (*tempo min aération ; tempo max aération ; tempo max non aération ; tempo non aération si arrêt aération sur tempo max*). Comme le montre le Tableau 8, l'adaptation du paramétrage de l'automate à des changements significatifs de charge azotée se fait par le biais des **deux paramètres qui pilotent la phase de non aération**. Globalement, plus la charge azotée augmente plus la nécessité d'aérer augmente et plus les temporisations *tempo max non aération & tempo non aération si arrêt aération sur tempo max* doivent être diminuées. Ceci permet d'une part de mieux traiter l'ammonium en dynamique (diminution des accumulations transitoires lorsque le pic de charge arrive) et d'autre part permet si nécessaire de monter à des durées d'aération journalières de 19 h. Dans l'annexe 5 « Consignes et préconisation pour le pilotage de la station », nous présentons en détail la méthode pour fixer ces paramètres.

La priorité est toujours donnée au traitement de l'ammonium, par conséquent, en période de forte charge, la diminution drastique des plages de dénitrification (coupure d'air) doit impérativement être compensée par l'utilisation de carbone secondaire (acide acétique) pour maximiser la dénitrification et éviter toute accumulation élevée et durable de nitrates. Il a été montré que la vitesse de dénitrification sur acétate était augmentée d'un facteur 2 à 3 (voir annexe 4 – estimation de la vitesse de dénitrification et des consommations d'acide acétique)

Tableau 8 : Paramétrage des cycles d'aération en fonction de la période de l'année et consignes MES et acide acétique.

		période 1	période 2	période 3
	semaines normales	printemps - automne		
		Pâques, Ascension, Pentecôte, Toussaint...	vacances - fin année	Août
Températures °C	11 - 20 °C	11 - 20 °C	< 11 °C	> 20 °C
[MES] g/l	≈ 5 gr/l	≈ 5 gr/l	≈ 7 gr/l	≈ 3 gr/l
seuil O2 (mg/l)	1	1	1	1
tempo min O2 (min)	10	10	10	10
tempo max O2 (min)	60	60	60	60
tempo max non O2 (min)	100	100	100	60
tempo max non O2 si tempo max O2 (min)	45	45	30	15
durée d'aération observées	4 - 8 h/j	8 - 12 h/j	8 - 11 h/j	10 - 15.5 h/j
ajout de carbone	non	préconisé	oui	oui
quantité acide acétique à 80%		1 litre/cycle de non aération	1 litre/cycle de non aération	2 litres/cycle de non aération
aluminate de soude (l/j)	8	8	6	de 12 à 20

Cet algorithme de gestion de l'aération fait que le fonctionnement des aérateurs s'adapte en permanence à la pollution azotée à traiter. La figure 17 en témoigne. Etant donné que, sur une journée, l'ammonium est toujours éliminé (nitrifié), la durée d'aération journalière est parfaitement représentative de la charge azotée traitée par la station. La Figure 17 montre les variations de la durée d'aération journalière sur 1 an. La durée d'aération journalière varie entre 4h (traitement des eaux domestiques de la ville de Masseret) et 16 h (pointe de charge du mois d'août).

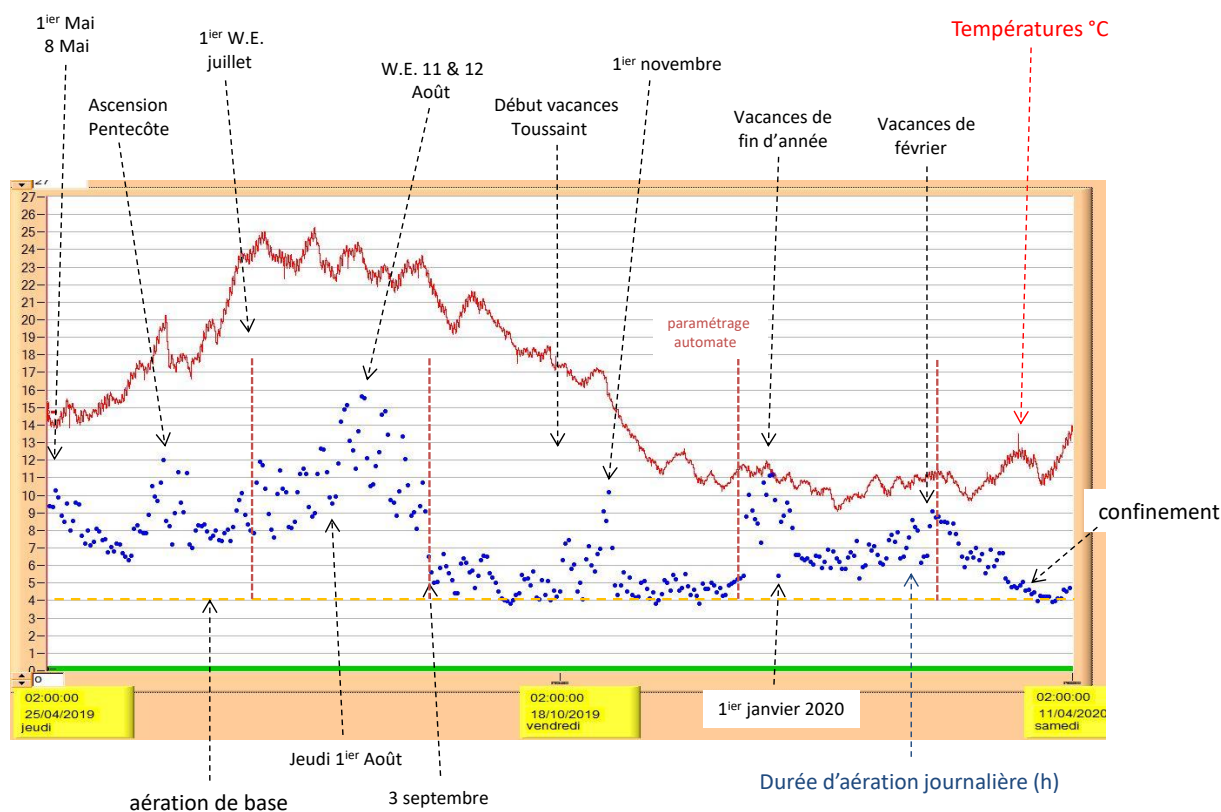


Figure 17 – Evolution de la durée d'aération journalière gérée à partir des paramétrages préconisés

Les performances de la station vis-à-vis de l'azote résultant de cette nouvelle gestion ont été estimées par rapport au NH_4 et non au NTK (azote total : azote ammoniacal + azote organique). Bien que la norme de rejet imposée se réfère au NTK (voir annexe 7), l'utilisation de ce paramètre aurait limité notre analyse aux seuls bilans réalisés par l'OIEAU, l'exploitant ne dose pas ce paramètre. Néanmoins, comme le montre les bilans de l'OIEAU du 6 et 22 août, le rapport $[\text{NTK}] / [\text{N-NH}_4]$ est constant et égal à 1,3. Il est donc aisé de passer d'un paramètre à l'autre.

La Figure 18 présente l'évolution des paramètres NH_4 et NO_3 sortie station sous forme graphique d'avril 2019 à avril 2020 (notés NH_4s et NO_3s sur la figure). De manière globale, l'ensemble des actions mises en œuvre sur cette station (réglage auto-adaptatif de l'aération, ajustement du taux de boue et apport automatique d'acide acétique) conduisent à une parfaite maîtrise du traitement de l'azote quelle que soit la période considérée et en particulier les deux plus critiques : le mois d'août et les fêtes de fin d'année.

➤ Les concentrations en ammonium de sorties sont restées inférieures à 2 mg $\text{N-NH}_4/\text{l}$, excepté un pic d'ammonium début Août qui a nécessité un nouveau paramétrage de l'automate. Le reliquat moyen d'azote organique (environ 2 mg Norg/L) oblige à viser une concentration inférieure à 2 mg $\text{N-NH}_4/\text{L}$ en période d'été. Ces excellents résultats démontrent la robustesse du paramétrage de l'automate de pilotage. La marge de sécurité est donc réduite en période d'été mais nous verrons que la filtration tertiaire des eaux clarifiées permet de sécuriser la qualité de rejet (nitrification, rétention de Norg via les MESS)

➤ Bien qu'il n'y ait pas de seuil normatif pour les nitrates, des accumulations élevées en nitrates font peser un risque important de fuite de boues par occurrence d'une dénitrification sauvage au niveau du décanteur. Fuite de boues autant préjudiciable à la qualité du traitement qu'au milieu récepteur. Il faut donc autant que possible éliminer ces nitrates ou du moins éviter qu'ils ne s'accumulent à des niveaux élevés sur une longue période. La Figure 18 montre que nous avons atteint cet objectif. Pour cela, en période de fréquentation moyenne à élevée de l'aire d'autoroute, le recours à des ajouts d'acide acétique pour "booster" la dénitrification est **indispensable**. Ces ajouts doivent être judicieux. Toute défaillance dans le système d'injection (problème mécanique ou produit épuisé ...) entraîne immédiatement une accumulation massive et durable de nitrates. Cette situation a été rencontrée lors de l'épuisement de la réserve d'acide acétique ou par un arrêt volontaire de l'apport en acide acétique.

➤ Au final, sur ce schéma de gestion, le Tableau 9 résume nos préconisations et estimations d'utilisation d'acide acétique. Il se base sur une volonté de traitement optimum de l'azote. Environ 2000 L sont nécessaires pour un traitement complet de l'azote sur toute l'année.

Remarque importante : les frais engendrés par un tel ajout sont directement imputables à l'activité de l'aire d'autoroute.

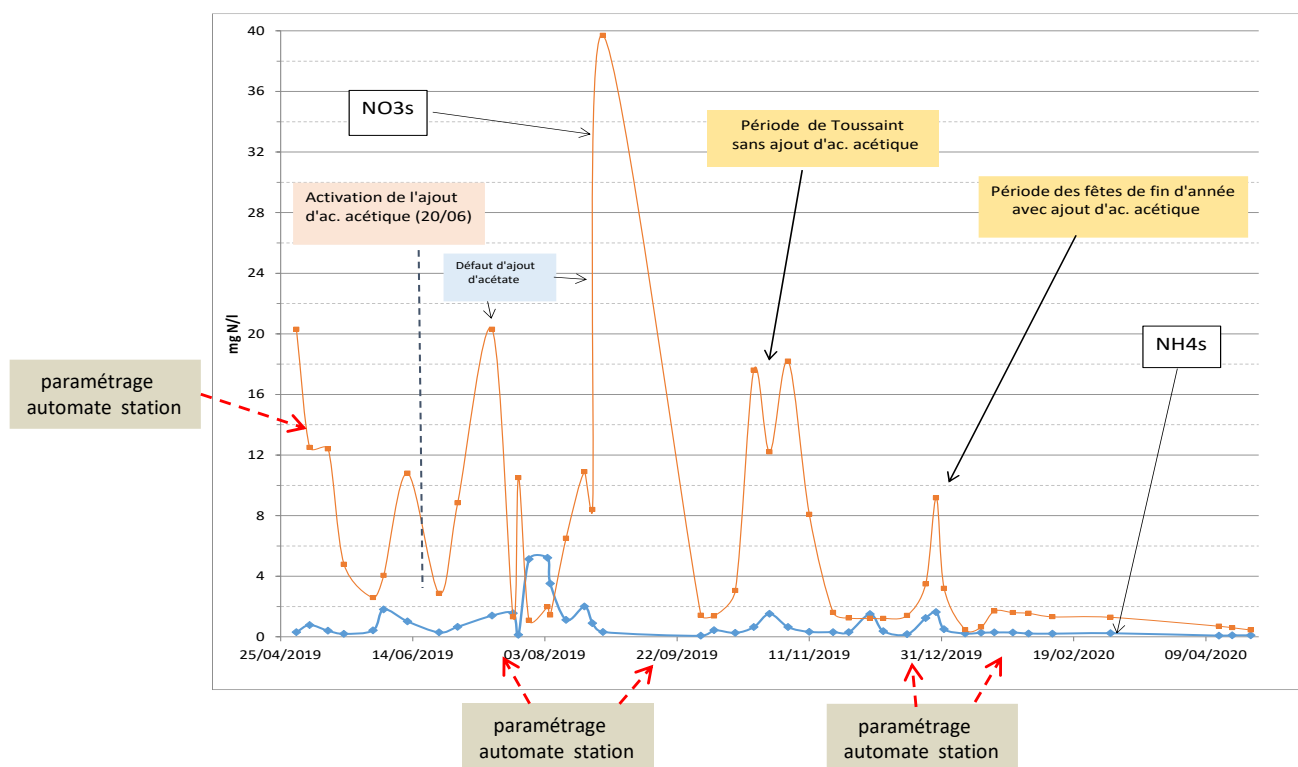


Figure 18- N-NH₄s, N-NO₃s sur la période avril 2019 avril 2020.
(Données extraites du tableau 6).

Tableau 9 - Estimation des consommations d'acide acétique dans un objectif de traitement complet de l'azote.

Période	nb jours d'ajout	litres/jour	Total
fêtes fin d'année	18	15	270
vacances hiver	7	15	105
Pâques	3	15	45
vacances printemps	7	15	105
Mai	10	15	150
Pentecôte	3	15	45
juillet	15	15	225
août	28	34	952
vacances Toussaint	7	15	105
Année	98		2002

VI.3 Traitement du phosphore

Le traitement physico-chimique du phosphore est assuré par l'injection d'aluminate de soude. Antérieurement à notre étude, l'aluminate de soude était bien souvent surdosé pour sa fonction de régulation du pH (neutralisation de l'acidification générée par la nitrification). Désormais, la dénitrification est rétablie, ce qui a pour conséquence une régulation naturelle du pH (production d'alcalinité par la dénitrification). L'aluminate de soude est donc désormais utilisé pour sa seule fonction de piégeage du phosphore. Nous nous sommes surtout attachés à minimiser l'utilisation d'aluminate pour baisser le coût d'exploitation.

Cette expérimentation s'est déroulée entre novembre 2019 et mai 2020. Sur cette période, la forte pluviométrie, la fluctuation importante de l'activité de l'aire d'autoroute et la mesure du phosphate en entrée irrégulière ont rendu difficile l'estimation de la charge de phosphate en entrée. Les données de charge entrante portées sur la [Figure 19](#) ont été mesurées hors période de pluviométrie. Les charges entrantes en phosphate sont très variables de 0,8 à 3 Kg/j. Ceci étant constaté, pour calculer la quantité d'aluminate à apporter nous sommes partis sur une valeur moyenne de 1,8 Kg P-PO₄/j. Sur la base d'un rapport stœchiométrique molaire égal à 2,5 mol Al₂O₃/mol P_{éliminé}, il est préconisé un ajout de 9 L/j d'aluminate de soude (NATRAL). C'est une valeur de référence autour de laquelle les consignes d'injection ont été testées. L'approche empirique est justifiée par l'absence de maîtrise de la charge en phosphate entrante.

Remarque : le phosphore en entrée n'est pas une analyse de routine faite par l'exploitant.

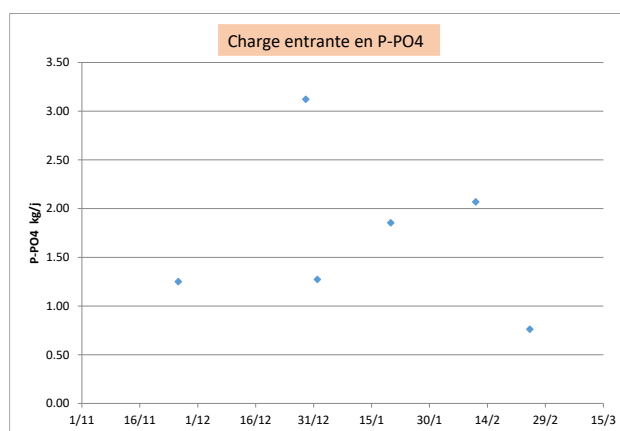


Figure 19 - Charge entrante en P-PO₄ (Kg/j)

Le débit d'injection d'aluminate a été modifié en fonction du profil de phosphate de sortie mesuré. La [Figure 20](#) illustre le profil de débit testé de 3 L/j à 20 L/j. A partir du 16/11/2019, nous avons décidé d'ajouter 6 l/j. La [Figure 20](#) présente les résultats obtenus. Les résultats montrent que de mi-novembre à mi-janvier, la concentration en phosphate est remarquablement stable et faible : en moyenne 0,4 mg P-PO₄/L. Sur toute cette période incluant les fêtes de fin d'année un apport de 6 L/j est donc suffisant.

Constatant ces résultats, dans une logique d'optimisation, le 15/01, nous avons baissé les volumes d'apport d'aluminate à 3 L/j. Dès lors, la concentration en phosphate a rapidement augmenté, suggérant l'absence d'inertie du système. En repassant à 5 L/j le 04/02 puis à 8 L/j le 18/02, le système est redevenu stable. Le débit est alors assez proche de celui calculé à partir de la stœchiométrie (9L/j). Là encore, le système ne présente pas d'effet rémanent de l'aluminate suite à

un défaut d'injection. Le défaut pompe mi-avril est suivi d'une augmentation rapide du phosphate et le seuil réglementaire de 2 mgP/l (hors période d'étiage) est dépassé au bout de 3 à 4 jours. De même, la dynamique de retour à la normale est plus lente. Lorsque le débit d'injection est rétabli, il faut attendre une dizaine de jours avant que la teneur en phosphate soit au voisinage de 0,4 mg/L.

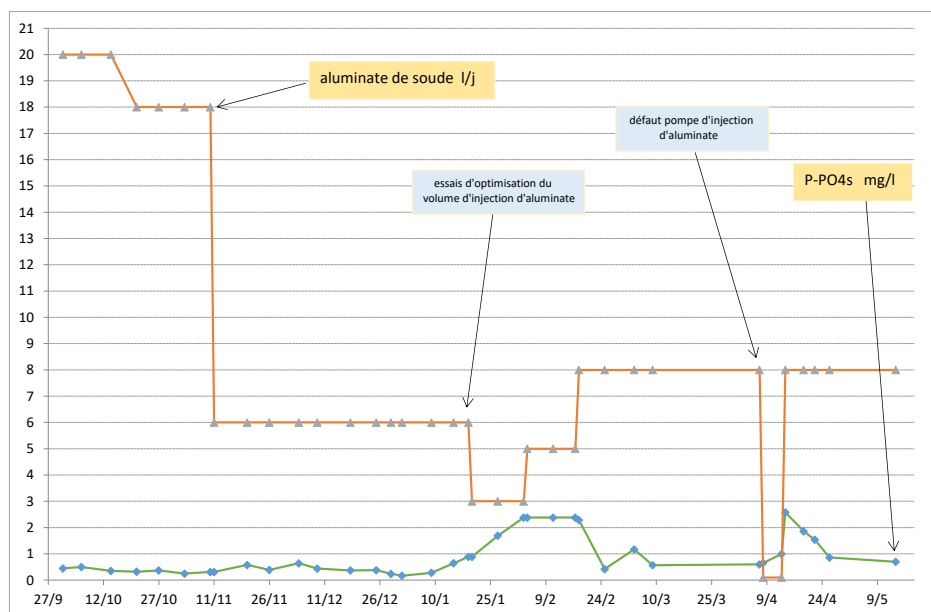


Figure 20 - Suivi du P-PO4sortie (bilan 24h exploitant et OIEAU le 01/01)
& volume d'ajout d'aluminate de soude

Au final, sur la base de l'optimisation effectuée pendant la période novembre 2019 – avril 2020, des résultats déjà obtenus en Juillet Août 2019 et des observations faites au printemps 2019, nous pouvons proposer la gestion des ajouts d'aluminate de soude suivante (tableau 10) :

Tableau 10 : Proposition de gestion des ajouts d'aluminate de soude.

			volume	volume total
Période	nb mois		alumine (l/j)	litres
novembre - janvier	3	30	6	540
fevrier - avril + octobre	4	30	8	960
mai - juillet + septembre	4	30	10	1200
août	1	30	12 à 20	480
ANNEE				3180

VII. Contribution de la filtration tertiaire à la qualité des eaux

Le bilan sur cet ouvrage a fourni les informations suivantes :

- cette opération reste une barrière très efficace vis-à-vis des fuites de MES pouvant survenir sur le clarificateur. Les concentrations en MES ne dépassent pas 5 mg/L. Dès lors que la concentration en MES des eaux clarifiées dépasse 8 mg MES/L, la filtration améliore la qualité finale du rejet sur la totalité des paramètres (DCO – NK – PT compris). Par contre, en deçà de cette concentration en MES, la contribution de la filtration tertiaire apparaît minime.
- Les concentrations en DCO correspondent aux valeurs de DCO dure.
- Les teneurs en NO_3 restent aussi variables que celles des eaux clarifiées.
- La filtration tertiaire sécurise la nitrification et peut permettre d'abaisser la concentration en NNH_4 de 2 à 3 mg NNH_4/L . Cette marge d'amélioration peut-être intéressante en période de très forte charge polluante comme au mois d'aout par exemple. Les concentrations en NH_4 sont effectivement toujours bien-dessous de 1 mg NNH_4/L même en période estivale.
- les bilans ne permettent pas de constater une amélioration des eaux filtrées sur le critère PT. Au contraire, les concentrations en PPO_4 se révèlent quasi systématiquement supérieures de 0,1 voire 0.2 mg PPO_4/L après l'étape de filtration. Ce dernier point suggère un processus de relargage d'orthophosphates issues soit de la dégradation des particules de boues piégées par le filtre ou bien de la décomposition partielle des végétaux se développant de façon saisonnière en surface des filtres végétalisés. Cette dernière considération n'est pas forcément étonnante car elle rejoint les constats opérés par plusieurs SATESE sur le comportement des filtres plantés de roseaux (FPR) où ces relargages de phosphore sont déjà évoqués. Ce constat confirme aussi l'objectif de 0,3 mg PPO_4/L à ne pas dépasser en sortie de clarificateur via la déphosphatation chimique.
- Enfin, il convient de rappeler que le suivi des performances de la filtration tertiaire s'appuie sur l'analyse d'échantillons ponctuels (2 à 3 prélèvements opérés manuellement en fin de matinée avec un intervalle de 15 minutes avant mélange). Un suivi plus poussé, multipliant les échantillons ponctuels au cours de la journée, serait sans aucun doute utile pour confirmer le processus de relargage des orthophosphates et statuer plus définitivement sur la nécessité de maintenir en place cette filtration tertiaire. Dans l'immédiat et dans l'attente des évolutions à venir (adaptation des capacités d'aération – mise en place des postes de dosage d'aluminate et d'acide acétique – possible évolution réglementaire du niveau de rejet en PT - ...), **il paraît souhaitable de prolonger le recours à la filtration tertiaire en période d'été.**

VIII. Exigences d'épuration en période d'étiage

Le respect des exigences demandées hors période d'étiage ne pose aucune difficulté. Pour ce qui est des exigences en période d'étiage, les critères MES, DBO5 et DCO sont parfaitement accessibles avec la capacité de traitement en place. C'est donc essentiellement sur le critère PT et éventuellement sur le critère NK que pourraient porter les aménagements en termes de niveaux de rejet pour allier une protection optimale du milieu naturel et un coût économiquement supportable par la collectivité (aluminat de soude).

Le tableau 11 rappelle les résultats obtenus sur le phosphate et le phosphore total en sortie du clarificateur. Un seul bilan sur les huit considérés (dont 4 bilans en période d'étiage et 5 bilans avec sollicitation de la filtration tertiaire) met en évidence le respect du niveau de rejet à 0.5 mg PT/L exigé en période d'étiage et c'est de toute évidence un véritable challenge.

Tableau 11 – résultats sur l'élimination du phosphate et du phosphore sur la station d'épuration et sur le biofiltre

BILAN	état milieu récepteur	eaux clarifiées				dosage aluminat (L/Jour)	eaux filtrées			
		MES	PT	PPO4	NK		MES	PT	PPO4	NK
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
20 dec 2018	hors étiage	16	1,1	0,75	2,5	12	4	1,0	0,73	1,3
04 fev 2019	hors étiage	12,4	0,8	0,54	4,2	12		0,8	0,55	1
19 fev 2019	hors étiage	10	0,9	0,5	3,3	arrêt *	filtration à l'arrêt			
15 juillet 2019	étiage	8,5	0,64	0,46	5,1	12	2	0,54	0,48	3,6
06 aout 2019	étiage	3,2	0,55	0,45	4,5	12	4,8	0,8	0,73	0,92
22 aout 2019	étiage	2,2	0,52	0,41	1,4	12	2	0,58	0,54	1
11-sept-19	étiage	10	0,65	0,35	2,3	20	2,4	0,53	0,43	1,4
2 janvier 2020	hors étiage	5,8	0,36	0,18	2,7	6	filtration à l'arrêt			
moyenne		9	0,69	0,46	3,3		3	0,71	0,58	1,54

* pompe doseuse arrêtée au cours du bilan pour niveau bas de réactif dans le container

Pour expliquer cette difficulté, il convient de rappeler que le critère PT se rapporte à la présence sur l'eau traitée de deux éléments (orthophosphates et phosphore particulaire) renvoyant à la relation suivante :

$$PT \text{ (en mg/L)} = PPO_4 \text{ (en mgPPO}_4\text{/L)} + P_{MES} \text{ (en mg P/L)}$$

Le critère P_{MES} correspond au phosphore contenu dans les matières en suspension. Il résulte de l'assimilation bactérienne classique de phosphore et de la précipitation des phosphates par l'ajout de réactifs chimiques à base de fer ou d'aluminium. Dans le contexte d'une boue activée avec déphosphatation chimique simultanée, on considère que ce phosphore particulaire représente de 4 à 7% de la concentration finale des MES. En considérant un ratio minimal de 5% et une valeur de 4 mg MES/L sur les eaux après filtration tertiaire, il paraît très difficile de limiter le critère P_{MES} à des valeurs en dessous de 0,2 mg/L.

En conséquence, le seuil de 0,5 mg PT/L implique de limiter la concentration finale en PPO_4 à une concentration maximale de 0,3 mg PPO_4 /L. Cet objectif est extrêmement exigeant et au-delà d'un certain seuil, **le dosage poussé du l'aluminat de soude ne garantit pas une diminution significative des phosphates. Le doublement de la dose (de 12 à 20 L/j) n'a impliqué qu'une très faible réduction des phosphates et ne permet pas d'atteindre ce seuil de 0,3 mg/L.** Cette contrainte est d'autant plus renforcée sur la STEU de Masseret que la pollution entrante est très rapidement fluctuante ce qui requiert une adaptation ciblée du dosage de réactif. Malheureusement, le très modeste gabarit de la station et le contrat d'exploitation qui en découle (prévoyant en

moyenne deux passages de l'opérateur par semaine), compromet cette facilité d'adaptation des réglages et/ou oblige à adopter des surdosages prolongés de réactifs pour garantir l'objectif de traitement.

L'exigence d'abattement en phosphore total devient de plus en plus forte sur les stations d'épuration localisées en zone sensible à l'eutrophisation. Aussi, il n'est pas rare aujourd'hui de constater y compris sur des STEU de capacité inférieures à 2000 EH des niveaux de rejet de 1 mg PT/L exigés en moyenne annuelle. Par contre, les niveaux maximum de 0,5 mg PT/L sont très exceptionnellement imposés en France alors que c'est plutôt la règle générale en Suisse. Ainsi, on peut citer à titre d'exemple la STEU de Lamballe dans les Cotes d'Armor pour laquelle l'arrêté préfectoral de novembre 2017 impose des concentrations maximum journalières au rejet de 0,5 mg PT/L. Mais, il faut préciser que cette station présente une capacité de 80 000 EH avec des agents d'exploitation en poste fixe et une obligation de suivi poussé à raison de 2 bilans de pollution par semaine qui rendent cet impératif de performances plus abordable.

En toute logique, il apparaît raisonnable sur le plan de la 'gestion économiquement supportable', de modérer légèrement l'ambition sur le critère PT en période d'étiage. Un seuil de concentration à 0,8 mg PT/L sur le rejet apparaîtrait nettement plus abordable avec la réalité du site tout en restant particulièrement sévère.

Pour confirmer cette réorientation 'raisonnable' des niveaux de rejet, on pourra se référer aux réflexions du groupe de travail de l'EPNAC ¹ qui proposait en décembre 2015, un tableau de valeurs guides (voir ci-dessous) correspondant aux performances maximales économiquement accessibles selon la capacité de la station d'épuration :

Capacité (EH)	Exigences minimales Réglementaires ¹	Exigences maximales abordables : valeurs guides pour les paramètres responsables du déclassement
< 200 EH	DBO5 : 35 mg O ₂ /l ou 60 % DCO : 200 mg O ₂ /l ou 60 % MES : 50 %	DBO5 : 25 mg O ₂ /l, DCO : 125 mg O ₂ /l, MES : 35 mg /l N-NH ₄ : 10 mg/l, Nk : 15 mg/l Pt : Pas de traitement car coût très élevé Si enjeu démontré ² , alternatives au traitement ² NO ₃ ou Ngl : Pas de traitement (voir chapitre IV.3). Si rare cas à enjeu ⁴ , alternatives au traitement ² .
200 à 2000 EH	DBO5 : 35 mg O ₂ /l ou 60 % DCO : 200 mg O ₂ /l ou 60 % MES : 50 %	DBO5 : 15 mg O ₂ /l, DCO : 90 mg O ₂ /l, MES : 20 mg /l N-NH ₄ : 10 mg/l, Nk : 15 mg/l Pt : Coût élevé, risque de difficulté de financement ³ et d'exploitation. Si enjeu démontré ² , alternatives au traitement ou traitement à 2 mg/l, en moyenne annuelle NO ₃ ou Ngl : Pas de traitement (voir chapitre IV.3). Si rare cas à enjeu ⁴ , alternatives au traitement ² .
2000 à 10 000 EH	DBO5 : 25 mg O ₂ /l ou 80 % DCO : 125 mg O ₂ /l ou 75 % MES : 35 mg O ₂ /l ou 90 %	DBO5 : 15 mg O ₂ /l, DCO : 90 mg O ₂ /l, MES : 15 mg /l N-NH ₄ : 8 mg/l, Nk : 10 mg /l Pt : 2 mg /l, en moyenne annuelle N-NO ₃ : 5 mg /l, Ngl : 15 mg /l, en moyennes annuelles
5000 à 10 000 EH		DBO5 : 15 mg O ₂ /l, DCO : 90 mg O ₂ /l, MES : 15 mg /l N-NH ₄ : 5 mg/l, Nk : 8 mg /l Pt : 1,5 mg /l, en moyenne annuelle N-NO ₃ : 5 mg /l, Ngl : 15 mg /l, en moyennes annuelles

Source : site internet de l'EPNAC

En conclusion, nos suggestions pour des exigences maximales abordables sont les suivantes :

critères	PT		NK	
	actuel	suggéré	actuel	suggéré
Niveau d'exigence				
Concentration maximale en mg/L	0.5	0.8	4	5
Rendement minimum en %	98	96	96	96

¹ EPNAC : Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement pour les petites Collectivités

IX. Capacité épuratoire de la station

Dans le cadre de cette étude, il a été possible de montrer que :

- La capacité d'aération fixe la capacité maximale de traitement actuel de la station. Il est possible de traiter des pointes de charges journalières de **45 kg NTK/j** et **420 kg DCO/j**. Les pointes de charges élevées du mois d'août sont absorbables par la station car elles sont de courtes durées (1 jour) et suivies d'une charge moyenne. C'est le profil de charge type de la station de Masseret lié à sa connexion à l'aire d'autoroute. Cette capacité est possible à condition de respecter les consignes optimales déterminées (paramètres de réglage des phases d'aération et de non aération, taux de boue, apport en acétate pour la dénitrification).
- Comme indiqué dans le Tableau 12 sur l'estimation des charges en pointe et en moyenne hebdomadaire, il n'est pas possible d'envisager une charge continue supplémentaire dans l'état dans la période des congés et en particulier au mois d'août pour lequel **la capacité nominale de la station est atteinte**.
- Il a été démontré que la limitation du traitement était liée à la capacité d'aération et non à la capacité nitrifiante qui est 2 à 3 fois plus importante. **Ces résultats sont particulièrement importants car ils montrent clairement une limitation de la nitrification par l'oxygène. Ils laissent également entrevoir que cette station pourrait traiter une charge polluante plus importante à condition d'une meilleure capacité à transférer l'oxygène.**
- La capacité d'oxygénation (notée par la suite CO) des aérateurs en place a été approchée en condition réelle de fonctionnement (température, boue), via l'estimation de la vitesse de consommation d'oxygène dans les périodes de limitation en oxygène ($< 0,1$ mg/L au mois d'août). La méthode d'obtention des données pour estimer la capacité d'oxygénation actuelle des aérateurs (vitesse de consommation biologique) est détaillée dans le document "Analyse des données de la station de MASSERET (période avril - août 2019). M. Mauret et X. Lefebvre (Page 26 : capacité épuratoire de la station)". Les données utilisées pour les calculs sont rassemblées dans le Tableau 13. La comparaison des deux CO donne une diminution de la CO des aérateurs de 17 %. Néanmoins cette différence n'est pas suffisante pour conclure à une perte de CO liée à une usure de l'équipement. En effet, cette différence est de l'ordre de grandeur engendré par le choix de la valeur du coefficient α pour calculer la capacité de ces aérateurs.

Compte tenu des projets affichés par la commune de Masseret, il a été estimé la puissance supplémentaire à installer pour **une charge supplémentaire de 500 EH**. Les données pour ce calcul sont rassemblées dans le Tableau 14. Au minimum, 4,2 KW sont nécessaires. Il faut cependant s'assurer auprès des équipementiers que la puissance totale par rapport au volume du bassin (468 m^3) permet de rester dans la gamme d'efficacité des aérateurs ($47,5 \text{ W/m}^3$).

Tableau 12 – Estimation des charges en pointe et en moyenne hebdomadaire (mois d'août)

période forte charge mois août		Pointe de charge journalière	charge hors pointe journalière	charge moyenne hebdomadaire**
DBO5*	k/j	200	100	129
DCO	k/j	400	200	257
MES*	k/j	300	150	193
NTK	k/j	45	22	29
Pt*	k/j	12,1	5,9	8

* calculé à partir des rapports P/NTK, DBO5/DCO et MES/DCO

** 2 j de pointe et 5 j hors pointe

Tableau 13 – Comparaison de la CO des aérateurs lors de leur mise en service en 2010 et de la CO calculée en eaux usées en 2019

caractéristiques	valeur	unité	commentaires
volume bassin	468	m3	
CO eau claire	20,49	kgO2/h	essais SGS
α	0,9		hypothèse équipementier
puissance	18	kw	essais SGS
ASB	1,13	kgO2/kwh	essais SGS
CO eau usée	18	kgO2/h	mise en service 2010
puissance installée	38	W/m3	
période limitation oxygénation			mois d'août
oxygène dissous	0,1	mg/L	
vitesse de nitrification	5	mgN/L/h	mesurée pdt pic de charge août
DBO	4,25	gDBO/gN	donnée stoechiométrique
vitesse endogène (DCO)	10	mg/O2/L/h	mesurée pour MES de 3 g/L
DBO totale max	15	kgO2/h	
CO eau usée	15	kgO2/h	en 2019

Tableau 14 – Puissance d'aération supplémentaire pour un projet de raccordement de 500 EH

projet extension	valeur	unité	commentaire
camping	240	EH	
ZAC	150	EH	
total	390	EH	
investissement	500	EH	
azote	15	gNTK/EH/j	
DCO	135	g/EH/j	80 % DCO biodégradable
charge azote	7,5	kgNTK/j	
charge DCO	67,5	kg/j	
DBO	3	kg/h	0,6 gDBO/gDCObio (âge de boue 15 j) et 4,25 gDBO/gN
DBO pointe	4,3	kg/h	pleine charge 15 h sur 24 h
puissance minimale	4,2	kw	ASB 1,13 kgO2/kwh et $\alpha = 0,9$
puissance minimale	9,0	W/m3	
puissance totale	22,2	Kw	
puissance totale	47,5	W/m3	vérifier avec fournisseur si possible sans détérioration de l'efficacité des aérateurs

Pour une semaine de pointe en saison estivale et en situation future, la capacité de pointe hebdomadaire, en faisant une moyenne des 7 jours d'une semaine de pointe estivale, est exprimée comme suit (Tableau 15) :

Tableau 15 – Estimation future des charges à traiter

		Dimensionnement actuel	Situation actuelle	Charge supplémentaire	Situation future
Volume journalier mesuré en entrée de la STEP (m³/j)		315	315	80	395
Débit de pointe (m³/h)	Par temps sec	27	27		27
	Par temps de pluie	100	100		100
Charges polluantes (kg/j)	MES	189	193	45	238
	DCO	252	257	68	325
	DBO5	126	129	30	159
	NTK	32	29	8	37
	PT	8,4	8,0	2,0	10
Capacité administrative de la station d'épuration (EH en DBO5)		2100	2 150	500	2650

X. Conclusions

Après un an d'observations détaillées du fonctionnement de la station d'épuration de MASSERET et d'optimisation du pilotage, nous pouvons conclure avec certitude que, sous condition d'une **gestion précise et attentionnée** des paramètres clés du process, cette station est tout à fait capable de satisfaire à ses objectifs de traitement actuels. Si cette station de 2100 EH requiert une telle attention, c'est en grande partie à cause des eaux usées provenant de l'aire d'autoroute "Les Portes de la Corrèze". En effet, tous les événements (vacances, fêtes, jours fériés ...) qui occasionnent une sur-fréquentation de ce lieu entraînent de fait une augmentation toujours brutale et très significative de la pollution à traiter. La charge azotée est effectivement multipliée sur un temps court par 2 à 4. De surcroît, cet effluent est déséquilibré et composé essentiellement d'azote ammoniacal. A cela vient se rajouter un réseau d'assainissement peu séparatif et des variations de températures très significatives de 9°C l'hiver à 25°C l'été.

Les consignes d'exploitation et les OPEX associées au traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute ont été rédigées sous la forme de documents synthétiques :

- Annexe 5 : « Consignes et préconisation pour le pilotage de la station »
- Annexe 6 : « Consommables pour le traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute »

La capacité nominale de traitement de la station est atteinte dans les périodes de congés d'hiver et d'été et ne permet pas, dans l'état, l'acceptation d'une charge supplémentaire continue. Un projet d'extension de raccordement passe donc par l'augmentation de cette capacité qui est possible en ajoutant une puissance d'aération adéquate. Cette solution est détaillée dans la partie « Capacité de la station » du rapport.

De ce travail, découlent des préconisations et un programme de travaux. En exploitation nous préconisons :

- Respecter les consignes d'exploitation éditées par l'INSA Toulouse. Pour se faire, une fiche de synthèse des réglages sera remise à l'exploitant pour affichage dans le local d'exploitation de la STEU
- La mise en place du protocole d'injection d'acide acétique comme préconisé par l'INSA Toulouse. Cela nécessite une intervention sur l'automate et le HMI (écran tactile en façade d'armoire électrique). Lors de cette intervention, il faudra donner l'accès à l'exploitant au paramètre « seuil bas redox » du HMI. Initialement prévue fin mars, cette action a dû être reportée à une date ultérieure en raison de l'actualité sanitaire (Covid-19).
- Prévoir un avenant au contrat d'exploitation qui inclut :
 - La fourniture de l'ensemble des réactifs (alumine de soude et acide acétique). Le rapport de L'INSA permet d'évaluer les quantités de réactifs consommées annuellement. Le surcoût d'exploitation engendré par l'ajout de ces réactifs viendra en déduction de la fourniture de chlorure ferrique prévue au contrat d'affermage.
 - D'augmenter le temps dédié à l'exploitation sur la STEU. La fréquence préconisée est de :
 - 4 passages de 3.5h (ou 1 journée de 7 h pour la maintenance du site et 2 demi-journées supplémentaires pour les tests et réglages de l'installation) sur la STEU de l'exploitant en période d'étiage et de vacances scolaires.
 - 3 passages de 3.5h (ou 1 journée de 7h et une demi-journée supplémentaire sur la STEU de l'exploitant en dehors des périodes d'étiage et de vacances scolaires.

- La remise en état du tamisage par le titulaire du contrat d'exploitation.
- La maintenance de la turbine 2 : aérateur FUCHS OXYSTAR qui n'a pas été révisé (cf. Annexe 8). Si le renouvellement de l'aérateur s'avérait nécessaire, il serait pertinent de le remplacer par un équipement plus puissant. A titre d'exemple une montée en gamme permettrait d'avoir un gain de 40 m³ d'air/h (cf. fiche produit OS20 FUCHS OXYSTAR ²)
- La formation des agents d'exploitation au traitement de l'azote et du phosphore.

En investissement nous préconisons :

- La mise en place d'un poste d'injection d'acide acétique équipé des commodités nécessaires à une exploitation facilitée (double poste de dosage, cuve de rétention, accès avec un transpalette, etc). Ces travaux pourront être ouverts à variante (réutilisation de la zone de stockage de chlorure ferrique actuel).
- Mise en place d'un poste d'aluminate de soude. Attention : les préconisations ci-après sont à respecter pour éviter la cristallisation du réactif et permettre son injection dans de bonnes conditions : Il faudra prévoir un local chauffé accolé à la sortie du bassin biologique afin de réduire au maximum la distance entre les pompes de dosages et le point d'injection (lame déversante du bassin biologique). Les conduites de refoulement devront être calorifugées et équipées d'un cordon chauffant. Ce local, sur rétention, devra permettre le stockage et la manœuvre aisée de deux IBC et ne présenter aucun seuil afin de permettre la circulation de transpalette.
- D'augmenter la capacité d'aération de minimum 4.2 kW. Nous avons privilégié un apport de 5.5 kW dans le programme de travaux pour être « confortable ».
- Equiper le bassin d'aération de sondes NH₄ et NO₃ afin de permettre à l'exploitant de réaliser un diagnostic précis et rapide de l'installation.
- De mettre en place un poste de supervision permettant de suivre de façon aisée l'évolution des paramètres oxygène – redox – NH₄ – NO₃ – pH et débits sous forme de courbes superposables. Cela nécessitera :
 - o de faire l'acquisition et de paramétrer un système de supervision (Topkapi (société Areal) ou PC Vue (Arc Informatique) par exemple) ou un poste central de télégestion (Sofrel PCWin2 par exemple) ;
 - o de compléter la configuration matérielle du poste local Sofrel S550 par une carte de 4 entrées analogiques supplémentaires, permettant de faire l'acquisition sur le S550 des variables analogiques actuellement non récupérées par l'appareil ;
 - o de reconfigurer le poste local S550 pour qu'il fasse l'acquisition des données supplémentaires et qu'il les communique vers le poste central ou le superviseur choisi.
- Le remplacement du débitmètre d'entrée. L'utilisation d'une autre technologie que celle actuellement utilisée est à privilégier (cf. Annexe 9).
- Mise en place d'un dégrilleur grossier et d'un dessableur en amont du tamis existant.
- Après avoir réalisé l'ensemble des travaux, il faudra prévoir la mise à jour des schémas électriques existants.

Si certaines préconisations peuvent paraître disproportionnées pour une STEU de cette capacité, elles restent cependant nécessaires dans le contexte de Masseret. Le programme des travaux est détaillé dans le chapitre XI.

² https://www.fuchsgermany.com/fileadmin/download_pdf/downloadcenter_abwasser_fr/Aerateur_FUCHS_OXYSTAR_brochure.pdf

XI. Programme des travaux



Réalisation d'installations pilotes Proposition de solutions de réhabilitation de la station d'épuration des eaux usées

le 12 juin 2020

1 - ETUDES - DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE SUR RESEAUX

	Montants HT		
	Montant étude	Frais divers, imprévus, actualisation des prix	Total opération
Etude préliminaire (reconnaissance test à la fumée et passage caméra pour recherche passages cailloux)	19 950,00 €	2 992,50 €	22 942,50 €

2 - TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA STATION D'EPURATION

Montants HT					
Ingénierie - Etudes	Génie Civil	Equipements	Total Travaux	Frais d'études, maîtrise d'œuvre, les essais de réception, divers, actualisation des prix et imprévus	Total Opération

POSTES GENERAUX						
Etudes EXE - Déclaration de travaux		12 500,00 €	6 500,00 €	19 000,00 €	2 850,00 €	21 850,00 €
Installation de Chantier		6 000,00 €		6 000,00 €	900,00 €	6 900,00 €
Marche dégradée	1 000,00 €		8 500,00 €	9 500,00 €	1 425,00 €	10 925,00 €
Démolition - Evacuation Poste FeCl3 et débitmètre	3 200,00 €		5 200,00 €	8 400,00 €	1 260,00 €	9 660,00 €
Total Poste Généraux	4 200,00 €	6 000,00 €	13 700,00 €	42 900,00 €	6 435,00 €	49 335,00 €

FILIERE PRE-TRAITEMENT EAU						
Poste 1 : Dégrilleur automatique et piège à cailloux						
Courbe 2000 EH avec accessoires		3 000,00 €	9 000,00 €	12 000,00 €	1 800,00 €	13 800,00 €
Piège à cailloux, canalisation		4 000,00 €	5 000,00 €	9 000,00 €	1 350,00 €	10 350,00 €
Plateforme - VRD - Câblage Automatisation		14 000,00 €	5 000,00 €	19 000,00 €	2 850,00 €	21 850,00 €
Total Poste 1 : Dégrilleur automatique et piège à cailloux	0,00 €	21 000,00 €	19 000,00 €	40 000,00 €	6 000,00 €	46 000,00 €
Poste 2 : Remplacement débitmètre						
Canal de mesure et capteur			4 500,00 €	4 500,00 €	675,00 €	5 175,00 €
Mise en place - Câblage - Automatisation - Mise en service		7 000,00 €	3 800,00 €	10 800,00 €	1 620,00 €	12 420,00 €
Total Poste 2 : Remplacement débitmètre	0,00 €	7 000,00 €	8 300,00 €	15 300,00 €	2 295,00 €	17 595,00 €
Poste 3 : Réparation du tamis						
			10 000,00 €	10 000,00 €	1 500,00 €	11 500,00 €
Total Poste 3 : Réparation du tamis	0,00 €	0,00 €	10 000,00 €	10 000,00 €	1 500,00 €	11 500,00 €
Total filière pré-prétraitement eau	0,00 €	28 000,00 €	37 300,00 €	65 300,00 €	9 795,00 €	75 095,00 €

Montants HT					
Ingénierie - Etudes	Génie Civil	Equipements	Total Travaux	Frais d'études, maîtrise d'œuvre, les essais de réception, divers, actualisation des prix et imprévus	Total Opération

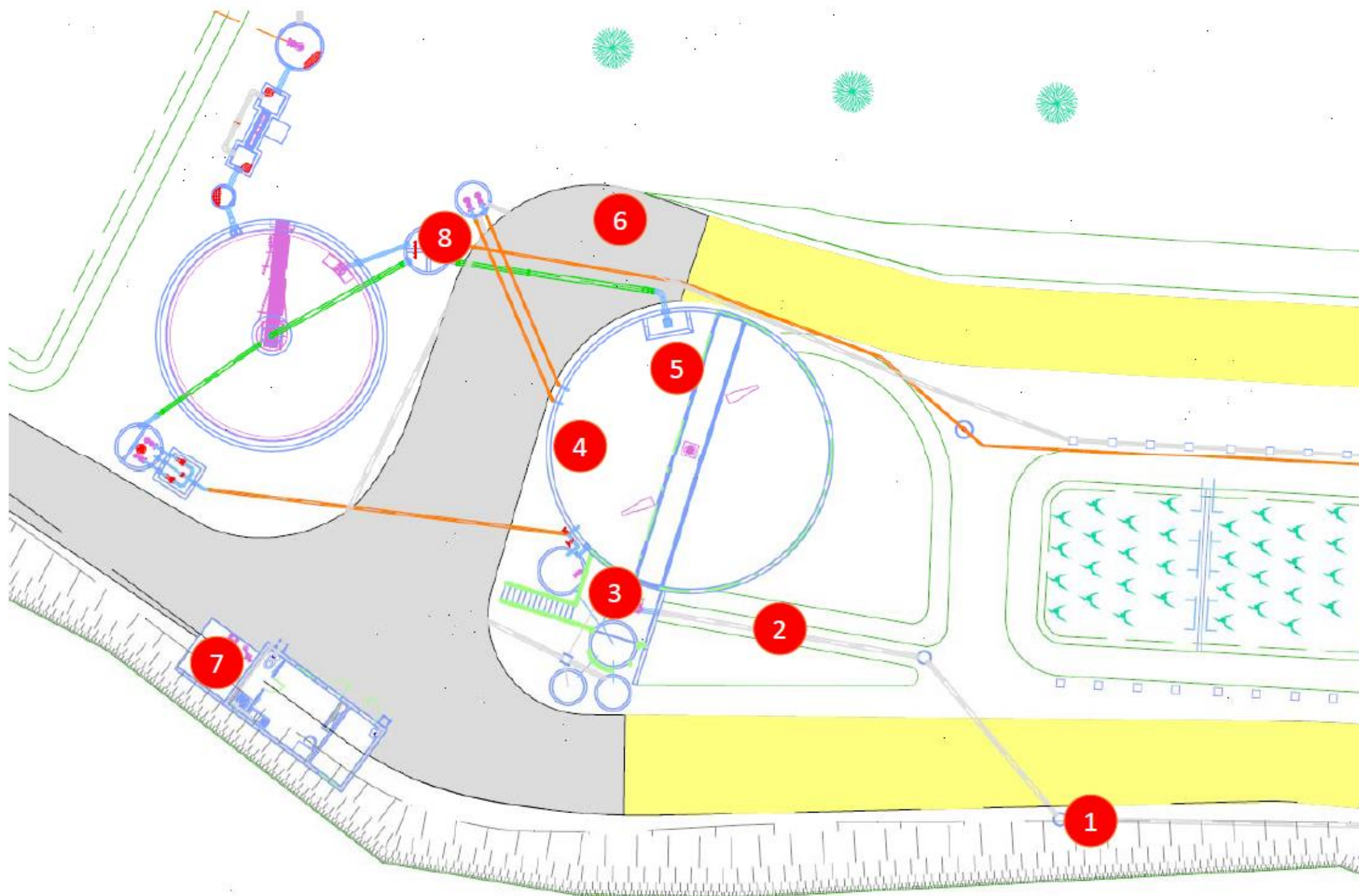
FILIERE TRAITEMENT EAU						
Poste 4 : Bassin d'Aération						
Aérateur 5,5 KW			15 700,00 €	15 700,00 €	2 355,00 €	18 055,00 €
Terrassement - Câblage Automatisation		8 000,00 €	11 000,00 €	19 000,00 €	2 850,00 €	21 850,00 €
Total Poste 4 : Bassin d'aération	0,00 €	8 000,00 €	26 700,00 €	34 700,00 €	5 205,00 €	39 905,00 €
Poste 5 : Suivi de l'azote - bassin d'aération						
Transmetteur et sondes NH4- NO3			14 500,00 €	14 500,00 €	2 175,00 €	16 675,00 €
Visualisation des données à distance			5 700,00 €	5 700,00 €	855,00 €	6 555,00 €
Cablage Automatisation			7 000,00 €	7 000,00 €	1 050,00 €	8 050,00 €
Total Poste 5 : Suivi de l'azote - bassin d'aération	0,00 €	0,00 €	27 200,00 €	27 200,00 €	4 080,00 €	31 280,00 €
Poste 6 : Déphosphatation à l'aluminate de soude						
Bungalow stockage de réactifs <20 m2 (2 IBC)			21 900,00 €	21 900,00 €	3 285,00 €	25 185,00 €
- Terrassement - VRD (Voirie - électricité et eau)		12 000,00 €	2 000,00 €	14 000,00 €	2 100,00 €	16 100,00 €
Armoire Pompage (2 pompes)			15 000,00 €	15 000,00 €	2 250,00 €	17 250,00 €
Câblage Automatisation			3 800,00 €	3 800,00 €	570,00 €	4 370,00 €
Douche de sécurité			2 100,00 €	2 100,00 €	315,00 €	2 415,00 €
Canalisation de refoulement			6 400,00 €	6 400,00 €	960,00 €	7 360,00 €
Total Poste 6 : Déphosphatation à l'aluminate de soude	0,00 €	12 000,00 €	51 200,00 €	63 200,00 €	9 480,00 €	72 680,00 €
Poste 7 : Injection d'acide acétique						
Cuve stockage 2 m3			7 600,00 €	7 600,00 €	1 140,00 €	8 740,00 €
Armoire Pompage (2 pompes)			15 000,00 €	15 000,00 €	2 250,00 €	17 250,00 €
Cablage Automatisation			4 900,00 €	4 900,00 €	735,00 €	5 635,00 €
Total Poste 7 : Injection d'acide acétique	0,00 €	0,00 €	27 500,00 €	27 500,00 €	4 125,00 €	31 625,00 €
Poste 8 : lame déversante puit de dégazage						
Batardeau inox ou aluminium			1 250,00 €	1 250,00 €	187,50 €	1 437,50 €
Total Poste 8 : lame déversante puit de dégazage	0,00 €	0,00 €	1 250,00 €	1 250,00 €	187,50 €	1 437,50 €
Total Filière Traitement Eau	0,00 €	20 000,00 €	133 850,00 €	153 850,00 €	23 077,50 €	176 927,50 €

ESSAIS - MISE EN SERVICE - DOE						
Essais - Mise en service - Plans conforme à l'exécution		2 500,00 €	12 000,00 €	14 500,00 €	2 175,00 €	16 675,00 €
Total Essais, mise en service, DOE	0,00 €	2 500,00 €	12 000,00 €	14 500,00 €	2 175,00 €	16 675,00 €

TOTAL TRAVAUX DE REHABILITATION DE LA STATION D'EPURATION	4 200,00 €	56 500,00 €	196 850,00 €	276 550,00 €	41 482,50 €	318 032,50 €
--	-------------------	--------------------	---------------------	---------------------	--------------------	---------------------

TOTAL Travaux et diagnostic préliminaire :				296 500,00 €	44 475,00 €	340 975,00 €
---	--	--	--	---------------------	--------------------	---------------------

Le plan de masse est le suivant :



Annexe 1 – Méthode de traitement des données brutes

4 paramètres sont calculés : le débit d'entrée à partir du traitement du débit de sortie, les vitesses de nitrification et de dénitrification et la durée d'aération. Ces paramètres ont été utilisés pour diagnostiquer le fonctionnement de la station et permettre d'établir les consignes de pilotage.

1) Débit d'entrée :

Sur toute la durée étude, la mesure du débit d'entrée n'était pas opérationnelle, nous avons utilisé le débit de sortie pour analyser les flux de pollution entrant. Précisons qu'entre l'entrée et la sortie de la station, la seule perte de débit se situe au niveau de l'extraction des boues directement pompées du dégazeur vers le lit de séchage planté de roseaux. Ces volumes d'extraction varient de 4 m³/j en hiver à 12 m³/j en été. Ils sont à comparer aux volumes journaliers sortants mesurés soit respectivement 150 et 180 m³/j hors pluviométrie et sur-fréquentation de l'aire d'autoroute. Ces volumes d'extraction représentent donc entre 2,2 % (4/180 hiver) et 8% (12/150 été) du volume entrant. A noter également qu'une certaine partie de ces volumes (eaux de percolation) revient en tête de la station dans la zone de contact en amont.

Par conséquent, le débit sortant est représentatif du débit entrant.

La figure 1 montre l'évolution du débit de sortie au cours du temps sur une période courte. Il s'agit là de données brutes. Il y apparait un débit variant par à-coups. Nous avons clairement identifié que ces à-coups sont la conséquence de la recirculation des boues du clarificateur. Pour calculer le débit de sortie, la procédure suivante a été appliquée à ces données brutes et le résultat est illustré sur la figure 2 :

- 1- Calcul des volumes unitaires sortant (m³)
- 2- Calcul du cumul des volumes unitaires (m³)
- 3- Calcul du débit de sortie (m³/h) par régression linéaire sur le volume cumulé à partir d'une fenêtre glissante de 3 heures sur le cumul des volumes unitaires.
- 4- Calcul des volumes journaliers sortant (m³/j) : intégration de l'aire sous la courbe de débit par périodes de 24h.

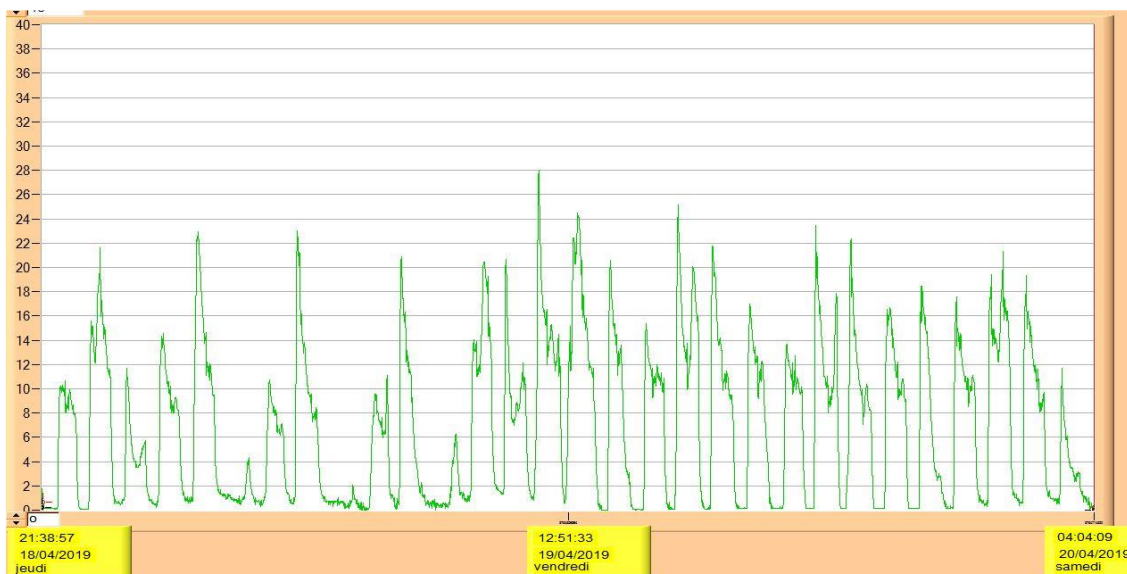


Figure 1 - Evolution du débit sortie du 6/2/2019 au 7/2/2019. Données brutes.

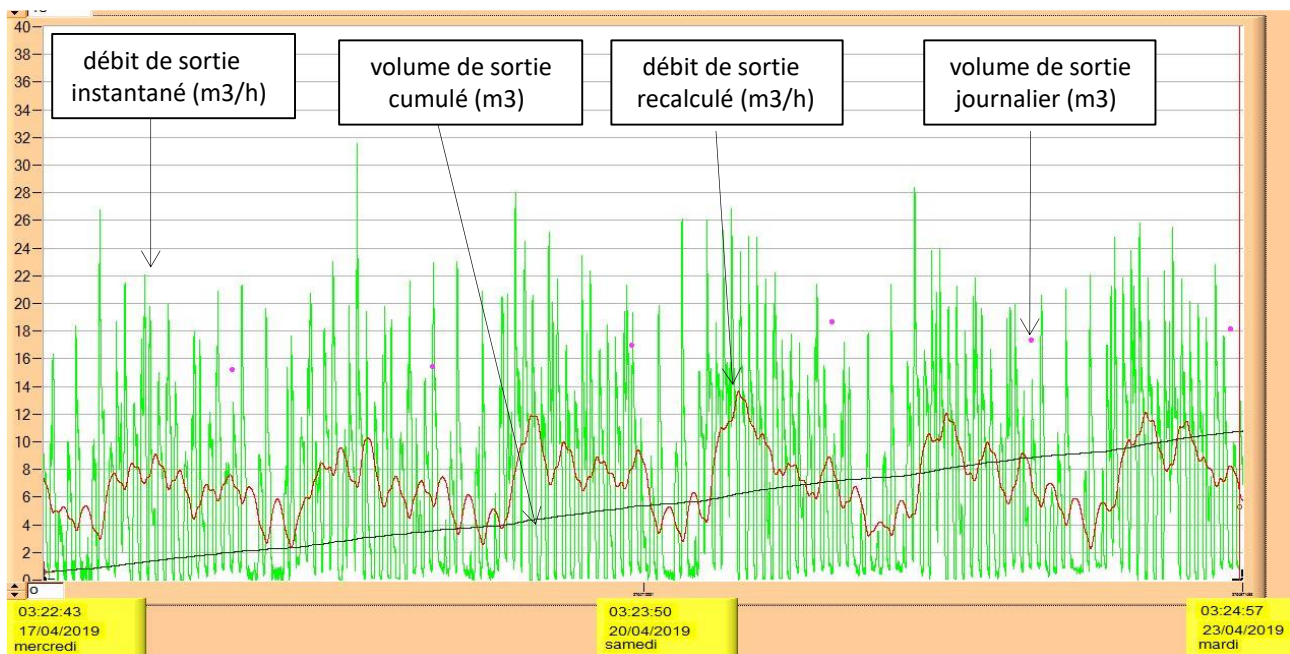


Figure 2 - débit sortie (m^3/h , vert), volume sortant cumulé (m^3 , noir /100), débit sortant calculé sur une fenêtre de 3 h (m^3/h , rouge), volume sortant (m^3/j , point noir/10).

2) Vitesses de nitrification et dénitrification :

Pour estimer les vitesses de nitrification et dénitrification, nous avons travaillé sur les variations de concentration des nitrates. Il est à noter que le signal de la sonde NO_3 est particulièrement "propre".

☞ Vitesses de nitrification :

Nous avons utilisé la variation des nitrates pendant les phases aérées. En effet, celle-ci est la résultante de la nitrification du NH_4 accumulé lors de la phase non aérée précédente mais également du NH_4 qui entre en continu. En pratique, sur toute la durée de chaque période d'aération, le logiciel calcule par une méthode des moindres carrés la pente de variation (accumulation) des NO_3 et affiche en fin de phase aérée la valeur de cette pente qui correspond ainsi à la vitesse de nitrification notée r_{Nit} (figure 3).

☞ Vitesses de dénitrification :

Nous utilisons la variation des nitrates pendant les phases non- aérées. En pratique, sur toute la durée de chaque période de non aération, le logiciel calcule par une méthode des moindres carrés la pente de variation (diminution) des NO_3 et affiche en fin de phase non aérée la valeur de cette pente (figure 4). Cette pente est négative. Pour obtenir la vitesse de dénitrification notée r_{DN} sur la figure 4, cette pente est multipliée par -1.

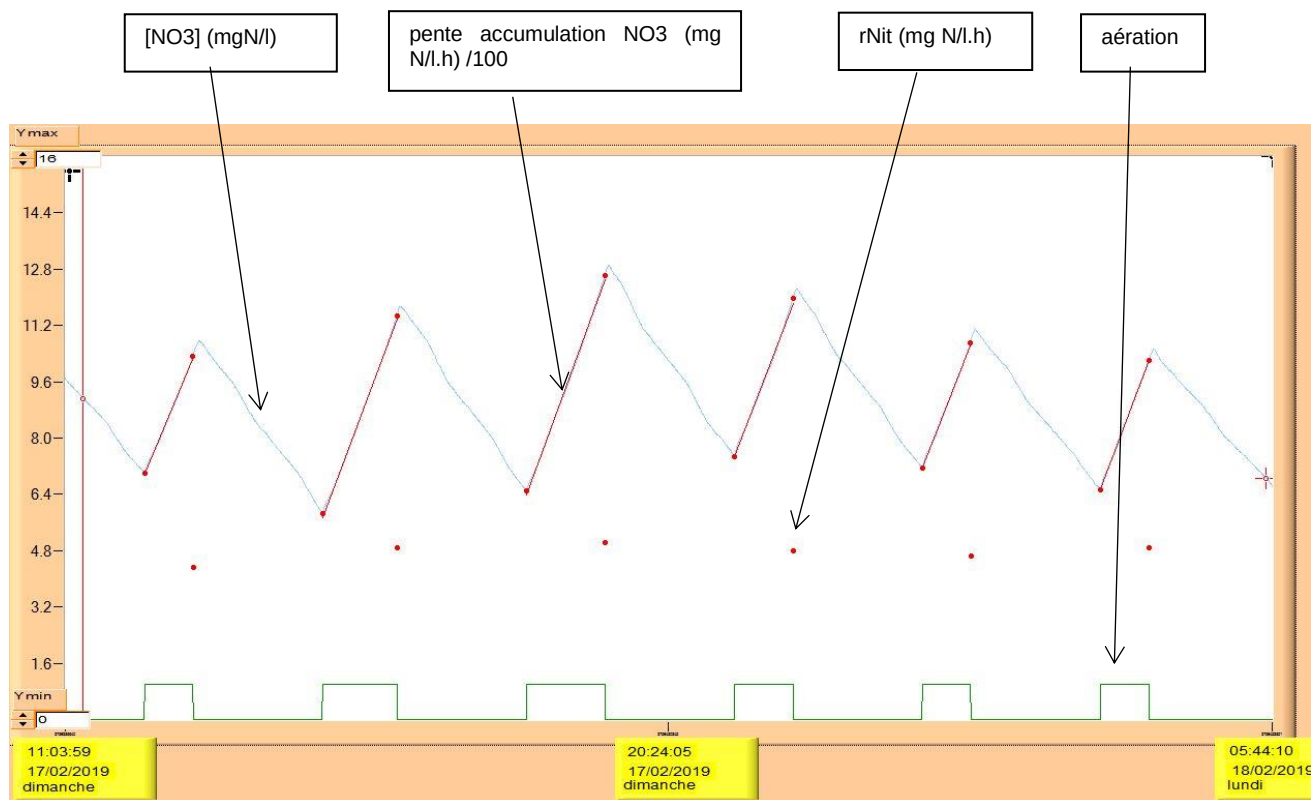


Figure 3 - Illustration du calcul des vitesses de nitrification. NO3 (mg N /l en bleu), créneaux d'aération (vert), rNit (mg N/l.h point rouges).

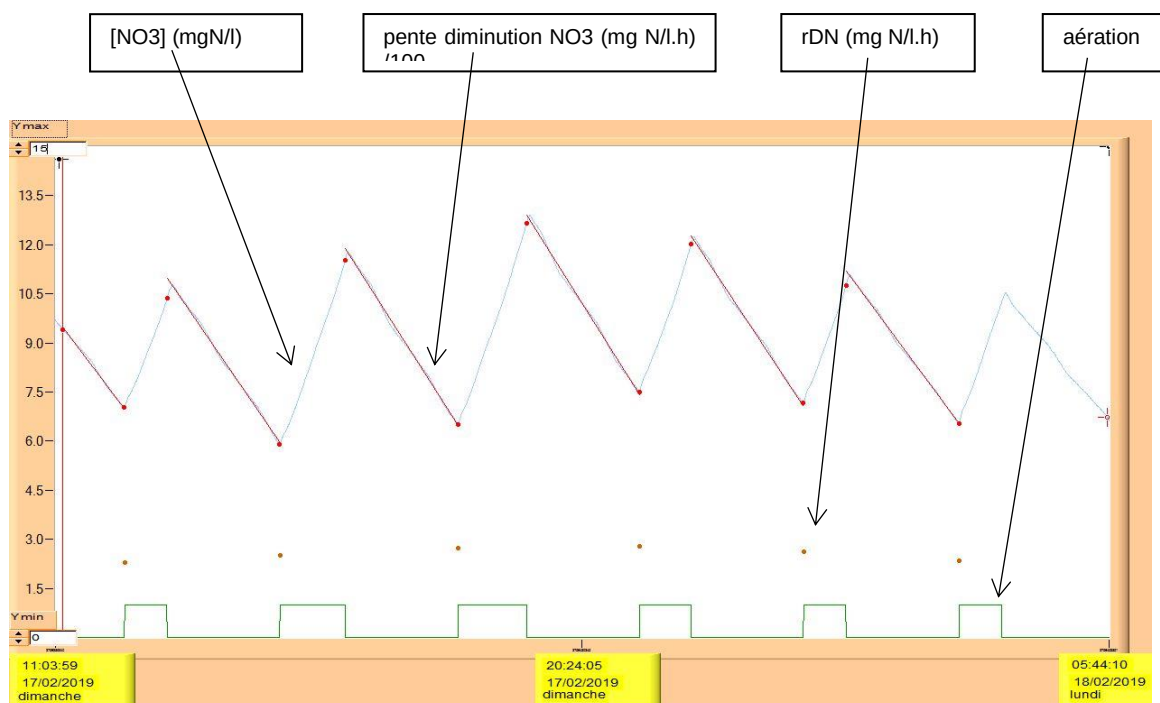


Figure 4 - Illustration du calcul des vitesses de nitrification. NO3 (mg N-NO3/l en bleu), créneaux d'aération (vert), rDN (mg N/l.h, point marron).

3) Durées d'aération journalière

Nous avons implémenté dans le logiciel L.A.C. une procédure qui permet de comptabiliser la durée de fonctionnement des aérateurs par jour. La figure 5 illustre le type de résultat obtenu.

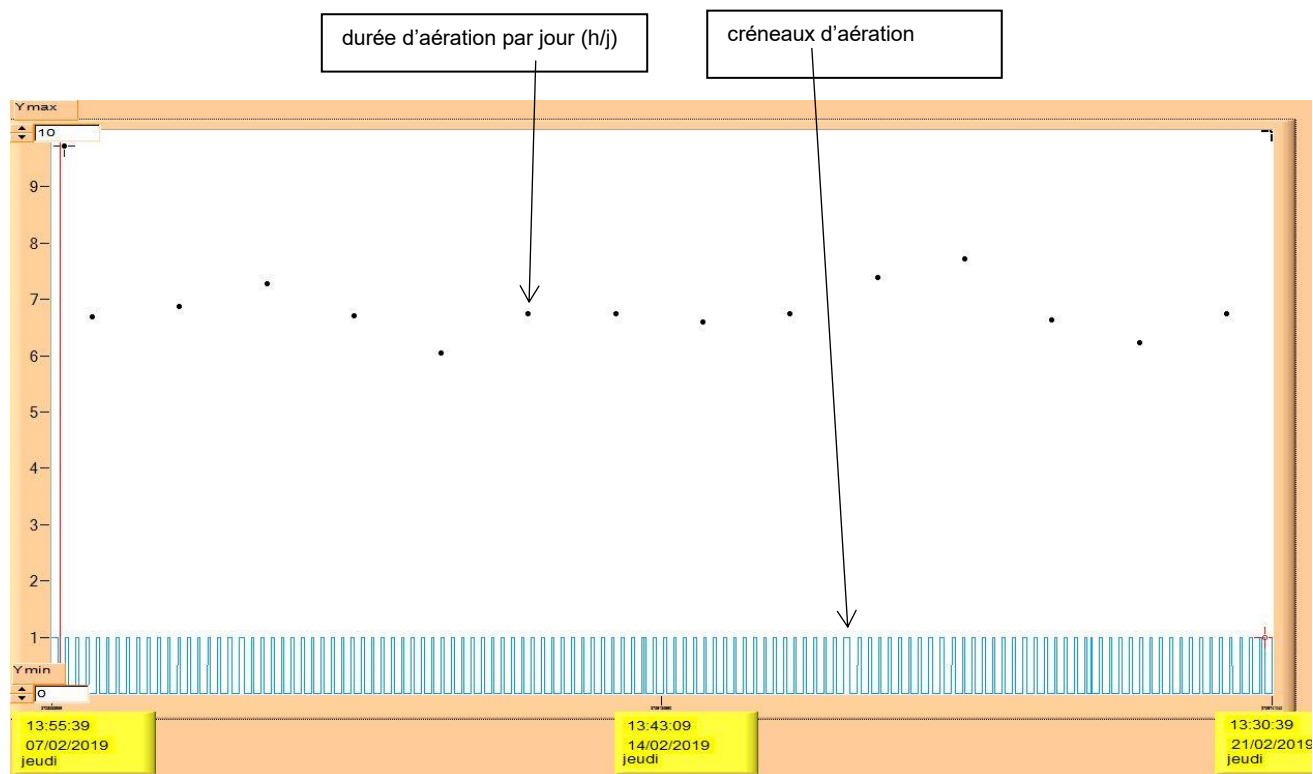


Figure 5 - créneaux d'aération (0/1) et durée d'aération par jour (h)

Annexe 2 – Méthode de qualification de l'état de charge de la STEU à travers l'estimation de la durée d'aération journalière

Les bilans 24h sont une image instantanée et ponctuelle du fonctionnement du process d'épuration (entrée & sortie). Sur des périodes de forte activité de l'aire d'autoroute, il est intéressant de suivre jour par jour et au travers d'un paramètre facilement accessible l'évolution de la charge azotée entrante. Nous proposons une approche pour répondre à cet objectif.

Nous avons montré à de nombreuses reprises que l'automate adapte la durée d'aération à la charge azotée entrante. Par conséquent, sur la période considérée, si les activités biologiques sont stables (et notamment la nitrification) et la nitrification quasi-totale, la durée d'aération journalière doit être représentative de la charge azotée entrante. La figure 1 montre l'évolution de la durée d'aération journalière sur la période étudiée.

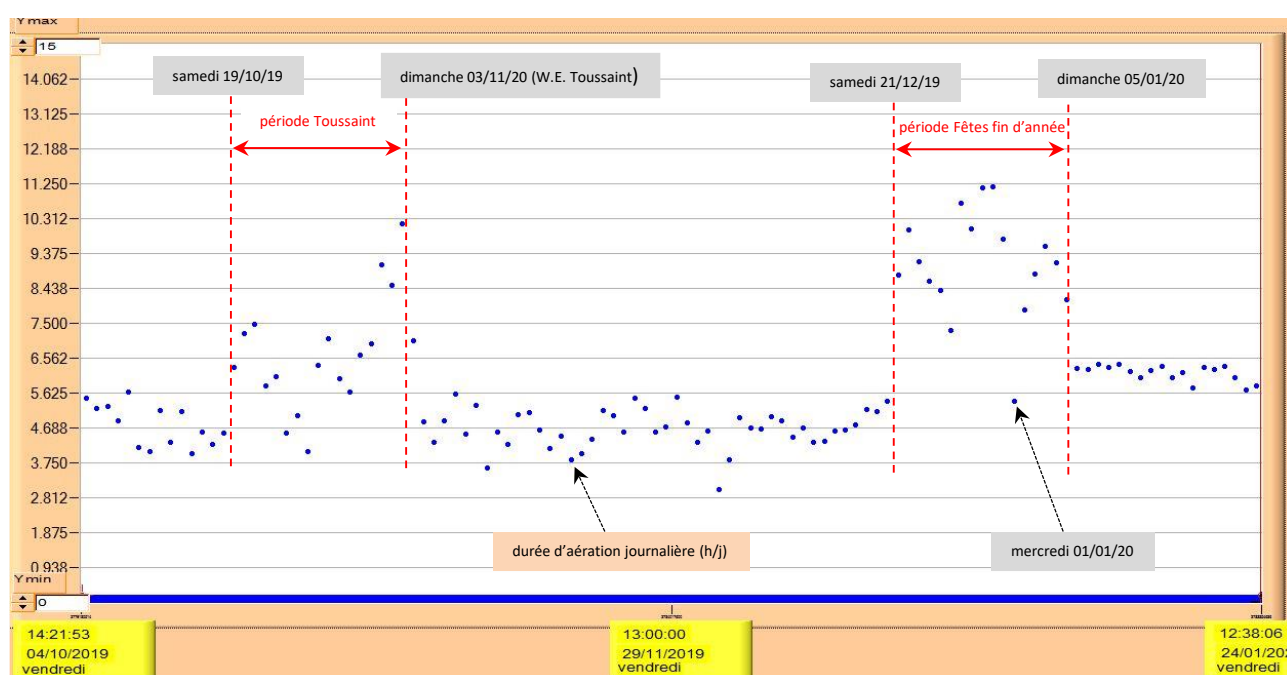


Figure 1 - Durée d'aération journalière entre octobre 2019 et janvier 2020.

Sur les mois d'octobre, novembre décembre, la durée moyenne d'aération est de $4,7 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$. Pendant les vacances de la Toussaint, cette durée moyenne d'aération passe à $6,5 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ avec un pic à 10,3 h le W.E. de la Toussaint. De même, sur toute la durée des vacances de fin d'année, la durée moyenne d'aération passe à $9 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ avec 4 jours à 11 h d'aération la semaine entre Noël et le premier de l'an. Cette analyse montre très clairement que pour absorber les variations de charge azotée issues de l'aire d'autoroute, la station adapte sa durée journalière d'aération. Ce paramètre est donc de visu un excellent indicateur pour suivre dans le temps l'état de charge et indirectement le niveau de fréquentation de l'aire d'autoroute.

Il est possible aussi de compléter cette démarche par une approche quantitative. A partir de la durée d'aération journalière et de la vitesse de nitrification (voir méthode annexe 1), nous pouvons estimer la quantité journalière d'ammonium nitrifié et donc la charge en azote à condition que la station traite la totalité de la charge :

$$\text{azote nitrifié (kg/j)} = \text{durée d'aération}^\circ (\text{h/j}) \times \text{vitesse de nitrification}^\circ (\text{mg/l.h}) \times \text{volume bassin d'aération}^\circ (\text{m}^3) / 1000$$

Prenons à titre d'exemple la date du 29/12/19, pour un bassin biologique de 460 m³, la vitesse de nitrification vaut 5 mg/L/h (figure 2) et la durée d'aération 11,25 h, soit une charge nitrifiée égale à :

$$11,25 \times 5 \times 460 / 1000 = 25,8 \text{ Kg N-NH}_4/\text{j}$$

A cette même date, le bilan 24h indique une charge entrante de 24,5 Kg N-NH₄ estimée par l'exploitant.

En conclusion, la durée d'aération journalière s'avère être proportionnelle et donc représentative de la charge azotée entrant sur la station. A ce titre, c'est un très bon indicateur de vigilance et de diagnostic. Par exemple, des durées d'aération > à 8 h/j indiquent clairement une intense fréquentation de l'aire d'autoroute avec des charges azotées > à 18 Kg N-NH₄/j. Pour finir ce paramètre est lisible pour l'exploitant et facilement accessible au niveau de l'automate.

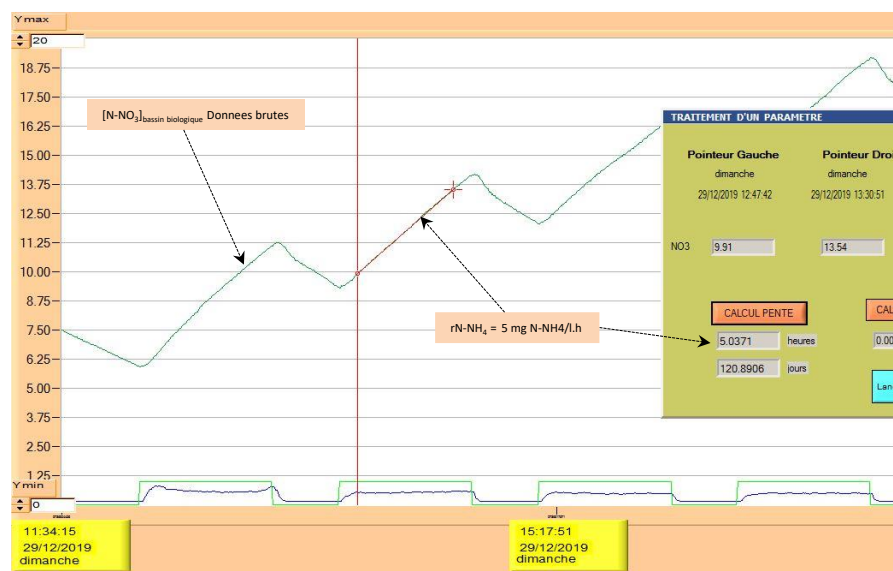


Figure 2 - Estimation de la vitesse de nitrification à partir des variations de la [N-NO₃] dans le bassin biologique. Le 29/12/2019 à 12h.

Annexe 3 - Méthode d'estimation du débit associé à la pluviométrie et capté par la station

Deux méthodes ont été utilisées pour estimer le débit hydraulique lié aux infiltrations d'eaux de pluie dans le réseau d'assainissement et capté par la station d'épuration.

Méthode 1 :

Cette méthode s'applique dans le cas d'évènements pluvieux intenses. Dans un tel cas de figure, il est possible d'intégrer directement la courbe de débit de sortie pour estimer le volume entrant imputable à cette précipitation (aire en rouge sur la figure 1). Le lundi 12 août 2019, l'exploitant a été témoin sur site d'un orage bref et intense. Les débits enregistrés montrent l'intensité de cet épisode (figure 1). Dans ce cas précis, environ 20 m³ d'eaux d'infiltration correspondant à 7 mm d'eau tombée.

Il est également à noter la rapidité du phénomène : l'exploitant signale le début de l'orage à 15h et le débit de sortie station commence à augmenter significativement à 15h37min. Au total, ce phénomène aura duré 2h. D'autre part, la photo du dégrilleur prise par l'exploitant à la suite de cet orage montre clairement la présence de déchets autres que domestiques dans le réseau d'assainissement et entraînés lors de ces épisodes orageux.

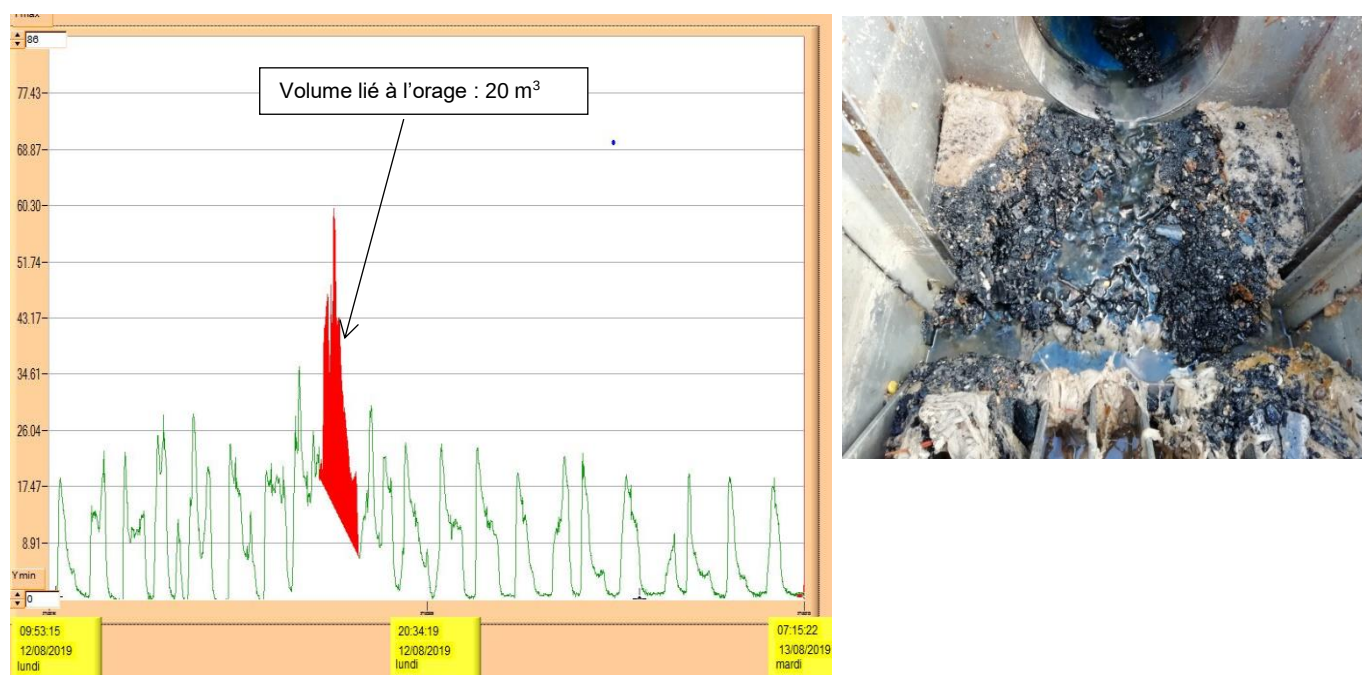


Figure 1 - exemple de répercussion d'un orage sur le débit de sortie (données brutes) de la STEP de MASSERET. Données brutes débit sortie (m³/h). photo du dégrilleur suite à l'orage du 12/08/2019. Photo transmise par l'exploitant.

Méthode 2 :

Lors de perturbations plus étalées dans le temps, nous avons utilisé une autre approche présentée sur la figure 2. Le volume sortant normalement sur la station les jours précédents (période sèche et hors variations supposée de l'aire d'autoroute) constitue la ligne de base.

Dans l'exemple de la figure 2, du lundi au mercredi la station traite en moyenne $180 \text{ m}^3/\text{j}$ (c'est notre ligne de base). Les deux jours suivants, les hausses du volume sortant sont directement imputées à la perturbation pluvieuse à savoir $+ 62 \text{ m}^3$ le jeudi pour 8 mm de pluie cumulée et $+ 45 \text{ m}^3$ le vendredi pour 3 mm de pluie cumulée. Soit au total : 107 m^3 pour 11 mm de pluie cumulée.

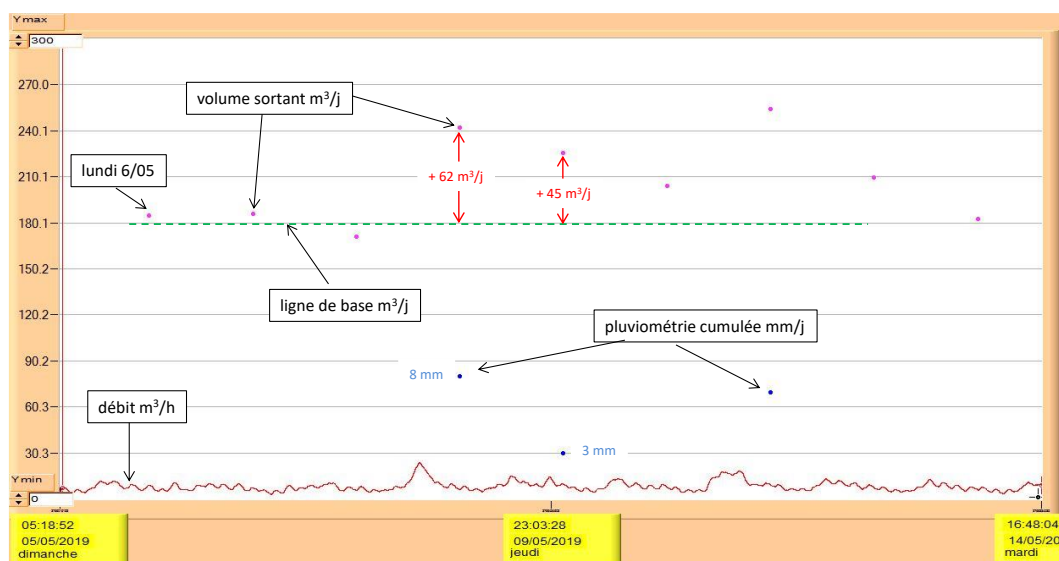


Figure 2 : Exemple d'estimation d'augmentation du volume journalier sortant de la station pendant une période pluvieuse.

Cette méthodologie a été appliquée sur les données extraites de la figure 3. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 1. Dans la dernière colonne de ce tableau, nous avons calculé le surplus d'eau sortant de la station en fonction de la pluie tombée. Le premier jour d'un événement pluvieux il transite par la station entre 7,7 et 9 m^3 d'eau de plus par mm d'eau tombée. Si la pluie persiste, les jours suivant ce rapport augmente et varie de 11 et 16 m^3 d'eau de plus par mm d'eau tombée. Ces chiffres sont donnés à titre indicatif et confirment sans ambiguïté que le réseau d'assainissement de la ville de MASSERET n'est pas séparatif. Ils permettent néanmoins d'estimer en première approximation le débit d'eau infiltrée dans des périodes de précipitations.

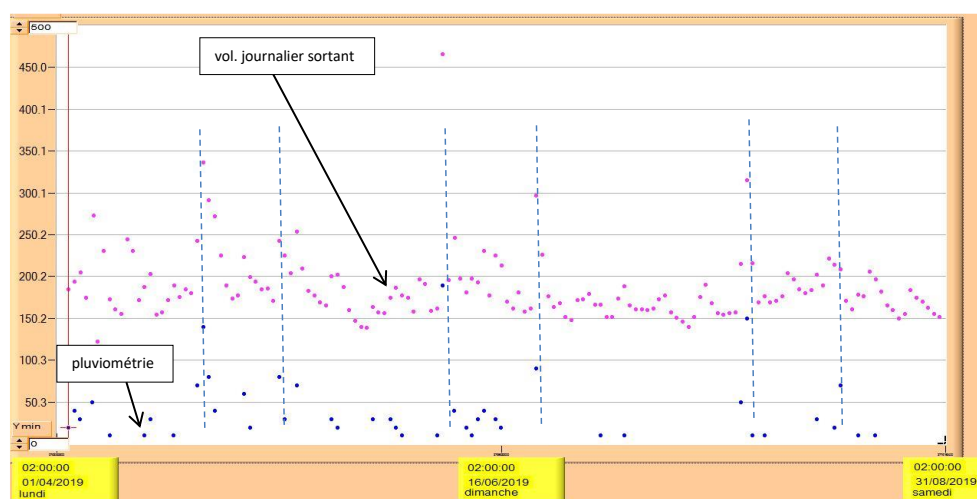


Figure 4 - volume journalier sortant (m^3/j), pluviométrie mesurée sur la station de Masseret (mm/j ; échelle graphique $\times 10$) sur la période avril - août 2019.

Tableau 1 : estimation de l'impact de la pluviométrie sur les volumes traités de la station de MASSERET

	jour	mois	volume sortant	pluviométrie	impact pluviométrie	
			m^3/j	mm/j	m^3/j	m^3/mm
mercredi	23	4	180			
jeudi	24	4	242	7	62	8.9
vendredi	25	4	336	14	156	11.1
jeudi	2	5	177			
vendredi	3	5	223	6	46	7.7
mercredi	8	5	180			
jeudi	9	5	242	8	62	7.8
vendredi	10	5	225	3	45	15.0
mardi	4	6	160			
mercredi	5	6	161	1	1	
jeudi	6	6	465	19	305	16.1
lundi	12	8		7	20	2.9

Annexe 4 – Estimation de la vitesse dénitrification sur acide acétique et consommation

La dénitrification sur acétate a été caractérisée par la vitesse et la quantité consommée. La figure 2 montre clairement l'effet d'ajout d'acide acétique. Cet ajout multiplie par 2,2 la vitesse de dénitrification, ce qui reviendrait à réduire par 2 la durée de non aération pour éliminer la même quantité de nitrate. A noter que la réactivité est instantanée. L'acide acétique est consommé instantanément et la vitesse diminue dès que l'on arrête l'ajout.

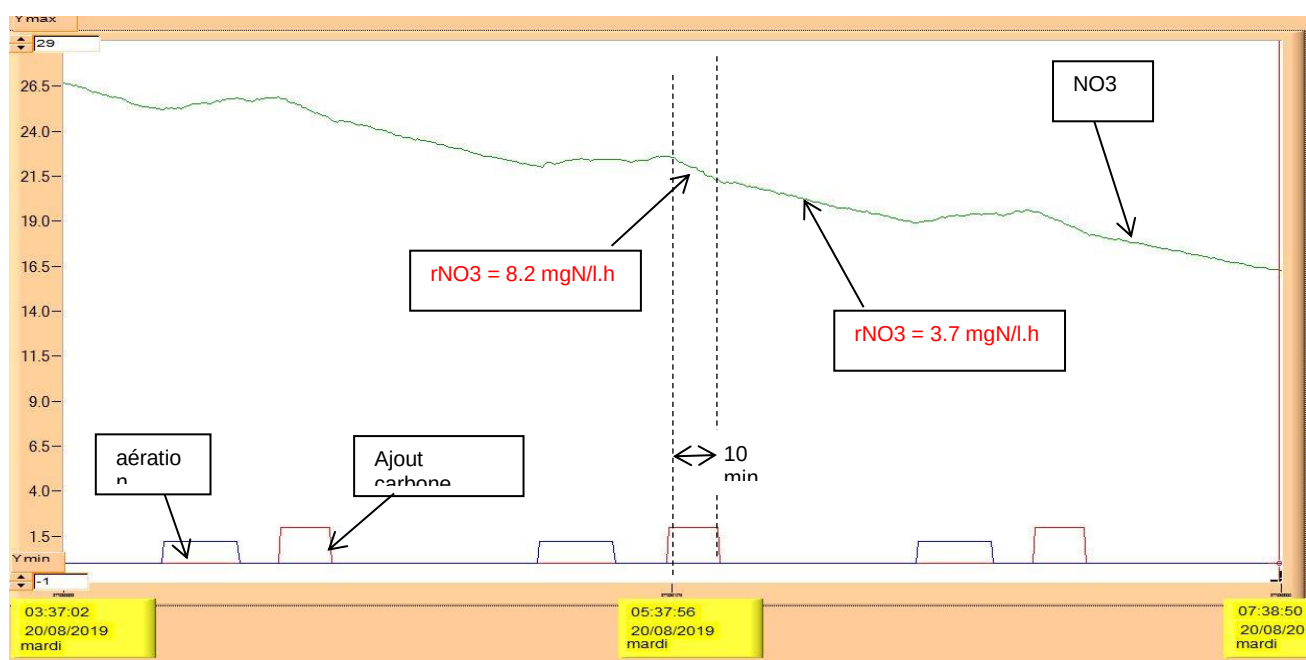


Figure 1 – Effet de l'ajout de l'acide acétique sur la vitesse de dénitrification

Au cours du mois d'Août, un ajout systématique de 2 litre d'acide acétique à chaque cycle de non aération est indispensable pour limiter l'accumulation des NO_3 . Cet apport correspond à un ajout de 1.6 Kg de DCO (ac. Acétique à 80% & 1 Kg d'ac. Acétique = 1kg DCO & densité de 1 (1L=1Kg)). Si l'on compte en moyenne 17 cycles de non aération / jour nous arrivons à : $17 * 2 * 7 * 4 = 952$ litres sur le mois d'août. Estimation validée par durée de vie du container de 1000L d'acide acétique mis en place le 24/07.

Annexe 5 - Consignes et préconisation pour le pilotage de la station

Nous avons rassemblé et commenté tous les éléments importants destinés à l'exploitant de la station de Masseret dans ce document. Les paramètres de gestion de cette station sont regroupés dans le tableau 1. Ces consignes sont issues de l'étude menée par l'OIE et l'INSA de Toulouse sur la période décembre 2018 à avril 2020.

L'objectif de ce document est de rappeler de manière synthétique les préconisations et les points de vigilance sur les 4 réglages du bassin biologique : le taux de boue, le paramétrage du syncopage de l'aération, l'injection de l'acide acétique et l'injection d'aluminate de soude.

Tableau 1 - valeurs des paramètres clés pour une gestion optimale de la station de MASSERET.

		période 1	période 2	période 3
	semaines normales	printemps - automne		
		Pâques, Ascension, Pentecôte, Toussaint...	vacances - fin année	Août
Températures °C	11 - 20 °C	11 - 20 °C	< 11 °C	> 20 °C
[MES] g/l	≈ 5 gr/l	≈ 5 gr/l	≈ 7 gr/l	≈ 3 gr/l
seuil O2 (mg/l)	1	1	1	1
tempo min O2 (min)	10	10	10	10
tempo max O2 (min)	60	60	60	60
tempo max non O2 (min)	100	100	100	60
tempo max non O2 si tempo max O2 (min)	45	45	30	15
durée d'aération observées	4 - 8 h/j	8 - 12 h/j	8 - 11 h/j	10 - 15.5 h/j
ajout de carbone	non	préconisé	oui	oui
quantité acide acétique à 80%		1 litre/cycle de non aération	1 litre/cycle de non aération	2 litres/cycle de non aération
aluminate de soude (l/j)	8	8	6	de 12 à 20

1) La gestion du taux de boues :

Sur la station de MASSERET l'exploitant doit porter une attention toute particulière à la gestion du taux de boue. Sur ce site plus qu'ailleurs, ce paramètre est particulièrement sensible car il se conjugue avec une forte amplitude de température, des charges azotées dépassant en pointe la capacité nominale de la station et enfin une capacité d'oxygénation limitante pendant la période estivale.

La stratégie globale de gestion de ce paramètre est la suivante. En hiver (et notamment pendant la période des fêtes de fin d'année), températures basses et pollution azotée très importante obligent à travailler à un taux de boue avoisinant 7 g/l pour conserver une capacité biologique maximale.

En été, nous préconisons un taux de boue voisin de 3 g/l. En tous cas, il est impératif que le taux de boue ne dépasse pas 4 g/l. Pendant cette période, des températures supérieures à 22 °C et des charges azotées extrêmes (32 à 35 Kg N-NH₄/j en pointe équivalent à 45 kgNTK/j) maintiennent l'activité biologique intrinsèque à des niveaux très élevés. La problématique pendant cette période est donc de limiter impérativement la concentration en boue pour éviter autant que possible une limitation de l'activité nitrifiante par l'oxygène.

Par conséquent, l'exploitant doit suivre une procédure indiquée dans le tableau 2 qui consiste à augmenter le taux de boue progressivement pour les mois d'hiver et à le diminuer progressivement pour atteindre en été un taux de boue bas. La figure 1 illustre cette procédure entre avril 2019 et mai 2020.

Tableau 2 : Procédure de gestion de la [MES]_{bassin biologique} sur l'année.

	15 décembre ↔ 15 mars		15 juillet ↔ 15 septembre	
[MES] g/l	≈ 7	↘	≈ 3	↗

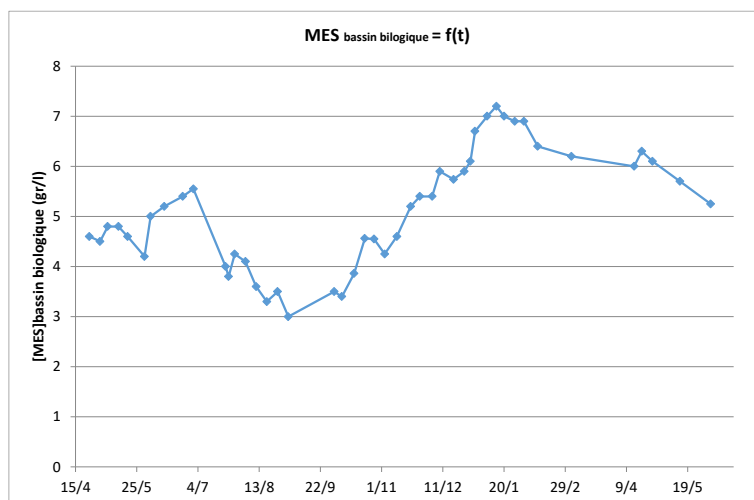


Figure 1 – Evolution de la [MES] entre avril 2019 et mai 2020

2) Le paramétrage de l'alternance aération – non aération :

Le tableau 1 donne le jeu de paramètre validé tout au long de cette étude. Nous allons expliciter ici comment ces paramètres ont été fixés et quels points sont à vérifier.

Il est possible à partir de la lecture des profils d'oxygène d'avoir une information qualitative sur la nitrification de l'ammonium. Pour l'illustrer, la figure 2 superpose les profils oxygène et ammonium. Le point fondamental à retenir est que les ruptures de pente sur l'O₂ appelées "point d'inflexion O₂" indiquent que tout l'ammonium a été nitrifié. Comme le montre très bien la figure 2, les périodes de pic de charge azotée se caractérisent par une succession des plateaux sur l'O₂ (l'ammonium s'accumule temporairement). Lorsque la charge diminue les décrochements sur l'O₂ (points d'inflexion) redeviennent visibles et indiquent une élimination totale de l'ammonium.

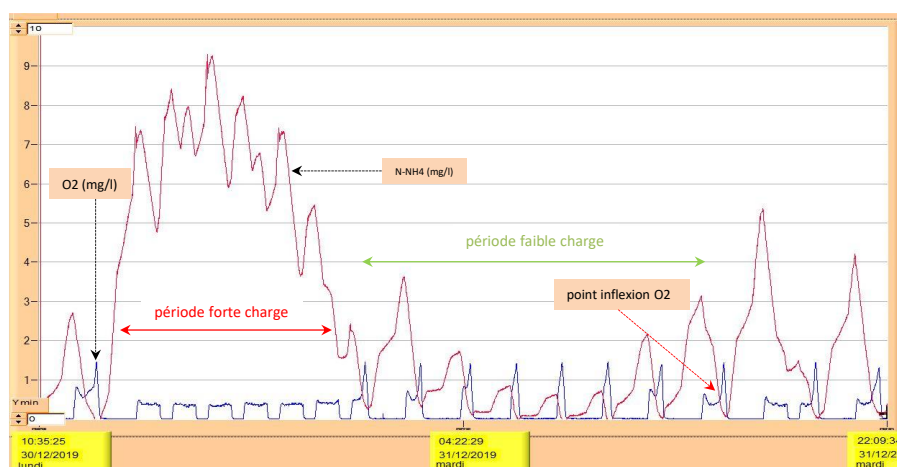


Figure 2 - corrélation O₂ – [NH₄]_{bassin biologique}. Période de forte charge azotée.

Autrement dit vis-à-vis du paramétrage de l'automate :

★ Dans les cas de pic de charge azotée, le **seuil O₂** n'est jamais atteint et la station fonctionne sur une cadence de : **tempo max aération / tempo non aération si arrêt aération sur tempo max**. La nitrification est incomplète.

★ Dans tous les autres cas (charges intermédiaires), l'aération est coupée lorsque le **seuil O₂** est atteint. La durée de non aération suivante est égale à **tempo max non aération**. La nitrification est totale.

➤ Il est **fondamental** de vérifier que la valeur du seuil de coupure de l'aération **seuil O₂** soit supérieure (au moins +0.5 mg/l) à la valeur de l'oxygène au niveau du point d'inflexion. Exemple, sur la figure 2 (et en général sur cette station), la valeur de la [O₂] au point d'inflexion est d'environ 0,5 – 0,6 mg/l. Nous avons donc choisi un **seuil O₂** à 1 mg/l. Remarque : Une valeur du **seuil O₂** trop proche du point d'inflexion entraînerait des coupures d'aération trop rapide, donc un déficit global d'aération et au final un mauvais traitement de l'ammonium !

Mise en garde : en hiver ou période pluvieuse, nous avons constaté que la valeur de la [O₂] au point d'inflexion pouvait glisser vers le haut. Dans ce cas il faut absolument augmenter le paramètre **seuil O₂** à 1,5 mg/l.

Dernière remarque : un **seuil O₂** trop élevé (par exemple 3 mg/l) entraînerait un retour au zéro oxygène après coupure de l'aération plus long donc un temps de dénitrification réduit et une moins bonne élimination des nitrates.

Le **seuil O₂** étant fixé, comme le montre le tableau 1, l'adaptation du paramétrage de l'automate à des changements significatifs de charge azoté se fait par le biais des **deux paramètres qui pilotent la phase de non aération**. Globalement, plus la charge azotée augmente plus la nécessité d'aérer augmente et plus **tempo max non aération** & **tempo non aération si arrêt aération sur tempo max** doivent être diminués.

Plus le paramètre **tempo non aération si arrêt aération sur tempo max** est petit, plus les durées de non aération sont courtes pendant le pic de charge azotée. Il en résulte des accumulations transitoires de NH₄ réduites.

Plus le paramètre **tempo max non aération** est petit, plus l'accumulation initiale d'ammonium lorsque la charge azotée arrive pendant une durée de coupure d'air (c'est souvent le cas) est réduite.

Bien évidemment lorsque **tempo max non aération** & **tempo non aération si arrêt aération sur tempo max** sont réduits au minimum, la diminution drastique des plages de dénitrification (coupure d'air) doit impérativement être compensée par l'utilisation de carbone secondaire (acide acétique) pour maximiser la dénitrification et éviter toute accumulation élevée et persistante de nitrates.

En résumé, en regardant simplement la dynamique des profils O₂, l'exploitant peut affiner le paramétrage de l'automate et estimer qualitativement : l'historique des charges azotées reçues et la qualité actuelle du traitement de l'ammonium.

3) Utilisation du carbone secondaire (acide acétique) :

Nous avons clairement démontré que, lorsque la fréquentation de l'aire d'autoroute passe à un niveau de fréquentation moyen à élevé pendant plus de 2 jours (Ascension, Pentecôte, W.E. juillet, mois d'août, Toussaint, vacances de fin d'année ...), il n'est pas possible d'éliminer les nitrates sans

ajout de carbone secondaire. C'est donc en toute connaissance de cause, que l'exploitant pourra activer les ajouts d'acide acétique aux moments opportuns.

Le tableau 1 préconise les volumes d'acide acétique à ajouter en fonction de la période de l'année. La fonctionnalité d'ajout de carbone secondaire implémentée dans l'automate est facile d'utilisation. Il suffit à l'exploitant de programmer la plage horaire des ajouts (début & fin des ajouts), le temps de fonctionnement de la pompe d'injection d'acide acétique et la $[O_2]$ à partir de laquelle l'ajout est déclenché. La valeur de la $[O_2]$ à partir de laquelle l'ajout d'acide acétique est déclenché sera fixée à 0,3 mg/l.

Très important : pour la période du mois d'Août et des fêtes de fin d'année, l'ajout d'acide acétique n'est pas préconisé mais est indispensable.

Pour suivre indirectement l'évolution des nitrates dans le bassin biologique, à l'instar du couple $[O_2]$ $[NH_4]$ en phase aérées, nous préconisons une lecture attentive du potentiel rédox. Comme le montrent les figures 3 et 4 correspondant respectivement à des états de forte et faible charge, lorsqu'il y a des nitrates dans le bassin biologique, les valeurs basses du rédox restent "élevées". Il faut attendre la disparition totale des nitrates pour voir l'apparition d'une rupture de pente et des valeurs de rédox diminuer franchement. Sur ces deux figures, même un œil non averti identifie clairement l'épuisement total des nitrates.

Insistons sur 1 point : ce qui est important ici c'est la dynamique du rédox et pas les valeurs absolues !!

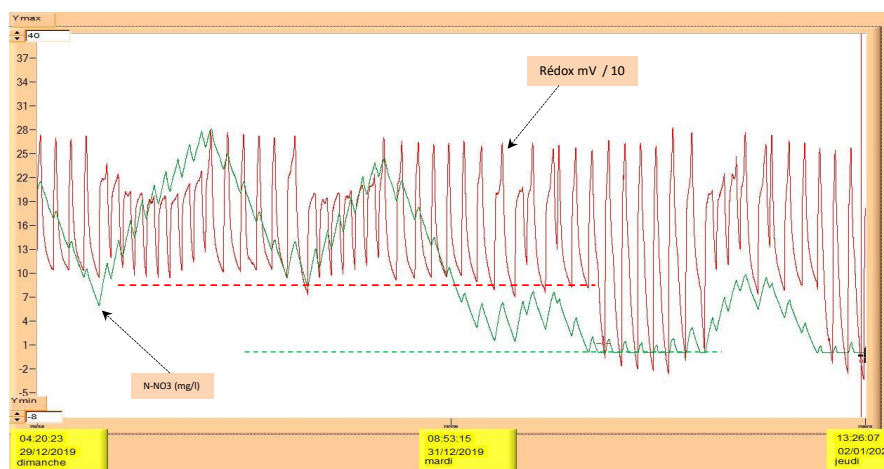


Figure 3 - corrélation rédox – $[NO_3]$ bassin biologique. Etat de forte charge

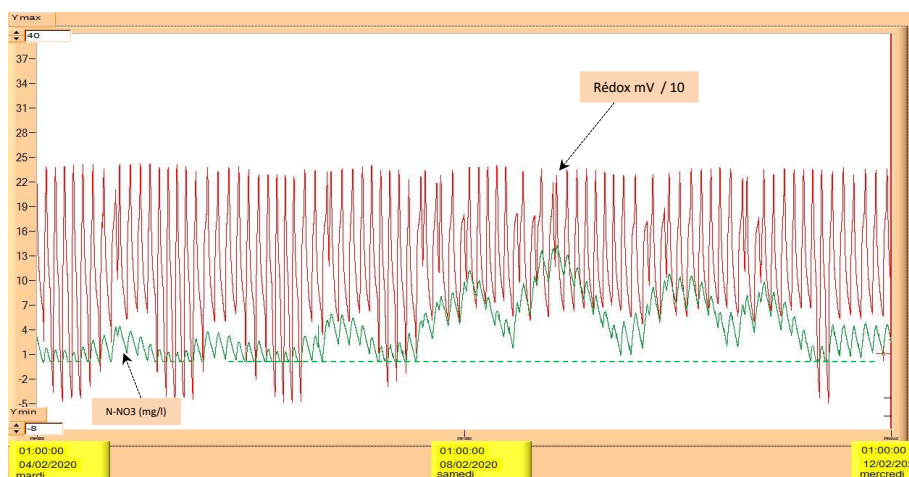


Figure 4 - corrélation rédox – [NO₃]_{bassin biologique}. Etat de faible charge

4) Utilisation de l'aluminate de soude :

Concernant le traitement du phosphore, sur la base des essais d'optimisation et des résultats obtenus pendant la période septembre 2019 – avril 2020, nous préconisons d'injecter les volumes d'aluminate de soude (produit NATRAL) mentionnés dans le tableau 3.

Tableau 3 - gestion des ajouts d'aluminate de soude.

			volume	volume total
Période	nb mois		aluminate (l/j)	litres
novembre - janvier	3	30	6	540
fevrier - avril + octobre	4	30	8	960
mai - juillet + septembre	4	30	10	1200
août	1	30	12 à 20	480
ANNEE				3180

Annexe 6 – Consommables pour le traitement des eaux usées de l'aire d'autoroute

Nous avons rassemblé et discuté l'ensemble des données quantifiant la charge polluante de l'aire d'autoroute LES PORTES DE LA CORREZE traitée par la station de MASSERET. Dans notre analyse, nous avons exploité un événement pour le moins inattendu : la fermeture de l'aire d'autoroute les portes de la CORREZE pendant la période de confinement liée à la pandémie du CORONA VIRUS. Cette longue période sans pluviométrie nous a permis de caractériser avec rigueur et précision le fonctionnement de la station d'épuration traitant uniquement les effluents de la ville de MASSERET. Nous pourrions qualifier ce fonctionnement d'état de référence.

Concernant la charge hydraulique :

Quinze jours après le début du confinement (le 18 mars 2020) le débit journalier entrant sur la station se stabilise à **125 m³/j**. (voir document de synthèse figure 6a page 12). Nous avons là un volume journalier de référence qui sous-estime légèrement la réalité car pendant cette période de confinement certaines entreprises du village et notamment le café restaurant étaient à l'arrêt. A la même période en 2019, nous mesurons des volumes entrants supérieurs de 25 m³/j. (voir document de synthèse figure 6b page 12) Cette différence semble cohérente et s'explique sans doute par l'addition des activités des entreprises de MASSERET et le l'activité minimale de l'aire d'autoroute. Au final, nous retiendrons un **volume journalier de référence de 150m³/j correspondant à la ville de MASSERET & à une activité minimale de l'aire d'autoroute**. En période sèche, tout volume supérieur à 150 m³/j pourra être directement imputable à l'aire d'autoroute.

Sur la période Juillet-Août 2019, une analyse fine des données de débits entrant sur la station de MASSERET montre qu'en période sèche et hors pluviométrie, les pics de fréquentation de l'aire d'autoroute génèrent un surplus de volume de 30 à 50 m³/j soit 20 à 30% du volume de référence de la seule ville de MASSERET. Par pics de fréquentation nous entendons : les week-ends de juillet août, Pâques, Pentecôte, Toussaint, la semaine entre Noël et 1^{er} de l'an.

Concernant la charge polluante azotée:

Grace à une large série de bilans 24h effectués par l'OIEAU et l'exploitant du site, nous avons caractérisé la pollution organique et azotée entrant sur cette station. Comme pour l'étude des débits entrant, la période de confinement nous permet de caractériser avec précision la charge azotée imputable à la seule ville de MASSERET. Cette charge est de **7,5 Kg N-NH₄/j** ou **9,75 Kg NTK/j**. Notons que cette donnée est parfaitement cohérente avec la population de MASSERET (700 habitants) et la production d'azote par habitant et par jour communément admise 15 gr NTK/Eqhab/j (Soit $700 \times 15 = 10,5$ Kg).

Toutes les charges supérieures à 7,5 Kg N-NH₄/j seront directement imputables à l'aire d'autoroute.

Le tableau 1 ci-dessous propose une synthèse période par période de la pollution entrante sur la station de MASSERET imputable à l'aire d'autoroute.

Tableau 1 - Récapitulatif du surplus de charges entrantes imputable à l'aire d'autoroute. Période Avril 2019 Avril 2020

			fréquentation haute	fréquentation maximale
	ligne de base	fréquentation moyenne	de l'aire d'autoroute	de l'aire d'autoroute
	MASSERET seule	de l'aire d'autoroute	jours festifs	W.E. Août
kg DCO / j	110	+ 0 - 50	+ 40 - 190	+ 190 - ...
Kg N-NH4 / j	7,5	+ 0 - 10	+ 17,5	+ 7,5 - 27,5
Kg NTK / j	9.75	+ 0 - 13	+ 22,75	+ 9,75 - 35,75

Par fréquentation moyenne nous entendons : les vacances scolaires

Par jours festifs nous entendons : W.E. Toussaint, fêtes de fin d'année, Pâques, Ascension, 14 Juillet...

Concernant la charge polluante DCO :

La période de confinement nous a permis de caractériser la charge organique imputable à la seule ville de MASSERET. Cette charge est d'environ 110 Kg DCO/j. Ce résultat est cohérent avec la population de MASSERET (700 habitants) et la production de DCO par habitant et par jour communément admise 135 gDCO/Eqhab/j. Soit $700 \times 135 = 94,5$ Kg/j.

Toutes les charges supérieures à 110 Kg DCO/j seront directement imputables à l'effluent de l'aire d'autoroute.

Nous savons maintenant comment l'aire d'autoroute impacte la station de MASSERET en termes de quantité et de qualité de pollution à traiter. Reste maintenant à montrer et chiffrer les effets de ce surplus de pollution sur les coûts de fonctionnement de cette station. Les deux postes de dépense principaux sont l'aération et l'injection de carbone secondaire (acide acétique) pour assurer un traitement complet de l'azote.

A cela, se rajoutent 3 autres postes de dépense secondaires tels que :

- Le surplus de PO4 dont les pics obligent à bien surdoser l'aluminate en période d'étiage (la charge correspondante n'a pas pu être établie dans cette étude
- La contribution à la production supplémentaires de boues qui passe pour l'instant inaperçue car aucun lit de séchage n'a eu besoin d'être vidangé jusqu'à présent
- Des contrôles de terrain accrus et sans doute un temps de présence de l'opérateur plus significatif

1) Poste aération :

Grace à un paramétrage optimisé, l'automate de la station adapte en permanence la durée d'aération à la charge azotée entrante. Par conséquent, sur la période Avril 2019 Avril 2020, la

nitrification ayant toujours été totale (comme l'impose la réglementation), la durée d'aération journalière est le paramètre qui va nous permettre de quantifier le coût énergétique global nécessaire au traitement du surplus de pollution généré par l'aire d'autoroute.

Le dispositif d'acquisition de données mis en place sur cette station pour les besoins de l'étude nous permet de calculer avec une grande précision (fréquence d'acquisition toute les 20 secondes) la durée d'aération journalière. D'autre part et encore une fois, la fermeture de l'aire d'autoroute les portes de la CORREZE pendant la période de confinement liée à la pandémie du CORONA VIRUS nous donne de manière incontestable la durée d'aération minimale nécessaire au traitement des effluents de la seule ville de MASSERET. Toutes ces données sont présentées dans le document de synthèse à la figure 17 page 28.

En temps normal, il faut 4,5 h d'aération/jour (fourchette haute) pour traiter les effluents de la seule ville de MASSERET. Sur la période étudiée, nous enregistrons 2750 heures d'aération. Le calcul est simple, il faut $(2750 - 4.5 \times 365) = 1108$ h d'aération pour traiter la pollution émise par l'aire d'autoroute. Avec une puissance installée de 18 KW, cela correspond à une consommation électrique sur l'année arrondie à 20 000 KWh.

2) Poste acide acétique :

Notre étude montre clairement qu'au-delà d'une charge azotée d'environ 18 kg N-NH₄/j, il n'est plus possible de traiter l'ammonium sans éviter une accumulation significative et durable de nitrates. Cette accumulation fait peser un grave risque de dysfonctionnement de la station par fuite massive de boue (phénomène bien connu de dénitrification "sauvage" dans le décanteur). La technique d'injection d'acide acétique que nous avons développé et validé au cours de cette étude permet de résoudre ce problème en toutes circonstances.

Les quantités minimales utilisées pour garantir une parfaite maîtrise des nitrates sont recensées tableau 8 page 30 dans le document de synthèse. Sur une année cela représente une consommation d'environ 2000 L d'acide acétique à 80 %, coût directement imputable à l'activité de l'aire d'autoroute, car les eaux usées domestiques de la ville de Masseret ne sont pas déséquilibrées en carbone et autorise une nitrification / dénitrification sans apport d'acide acétique.

Annexe 7 – Dimensionnement constructeur

Cne de Masseret - Réalisation de pilotes et proposition de solutions de réhabilitation de la step – DCE

Cahier des Charges

Code station (SIG AE)	0519129V002
Constructeur	SAUR
Date de mise en service	1 ^{er} juin 2011
Mode de gestion	Délégation de service
Exploitant	VEOLIA EAU
Capacité de la station d'épuration (données constructeur)	. 2 100 équivalents-habitants . 126 kg/j DBO₅ . 252 kg/j DCO . 189 kg/j MES . 31,5 kg/j NTK . 8,4 kg/j PT . Débit journalier : 315 m³/j . Débit de pointe par temps sec : 27 m³/h . Débit de pointe par temps de pluie : 100 m³/h
Type de traitement	Filière Eau : Boues activées à aération prolongée avec déphosphatation physico chimique Filière Boues : Déshydratation sur lits plantés de roseaux Filtre tertiaire avant rejet (filtre à sable végétalisé)
Réseau de collecte	Séparatif
Exutoire	Ruisseau des Places
Normes de rejet en concentration (en période d'été niveau à respecter soit en concentration, soit en rendement, soit en flux : voir § II.4.1 du rapport phase 1&2)	DBO ₅ : 25 mg/l hors étiage et 15 mg/l en étiage DCO : 125 mg/l hors étiage et 60 mg/l en étiage MES : 35 mg/l NTK : 10 mg/l hors étiage et 4 mg/l en étiage PT : 2 mg/l hors étiage et 0,5 mg/l en étiage
Coordonnées du point de rejet (coordonnées Lambert)	585 847 6 493 880

Annexe 8 : Turbines d'aération

Le bassin d'aération est équipé de deux turbines flottantes FUCHS OXYSTAR qui l'on retrouve sur le synoptique de la station (cf. Image 1 ci-dessous) :

- Turbine 2 bassin d'aération
- Turbine 3 bassin d'aération

La Turbine 2 et la Turbine 3 sont identiques, la différence c'est que la turbine 3 a été révisée ce qui n'est pas le cas de la Turbine 2.

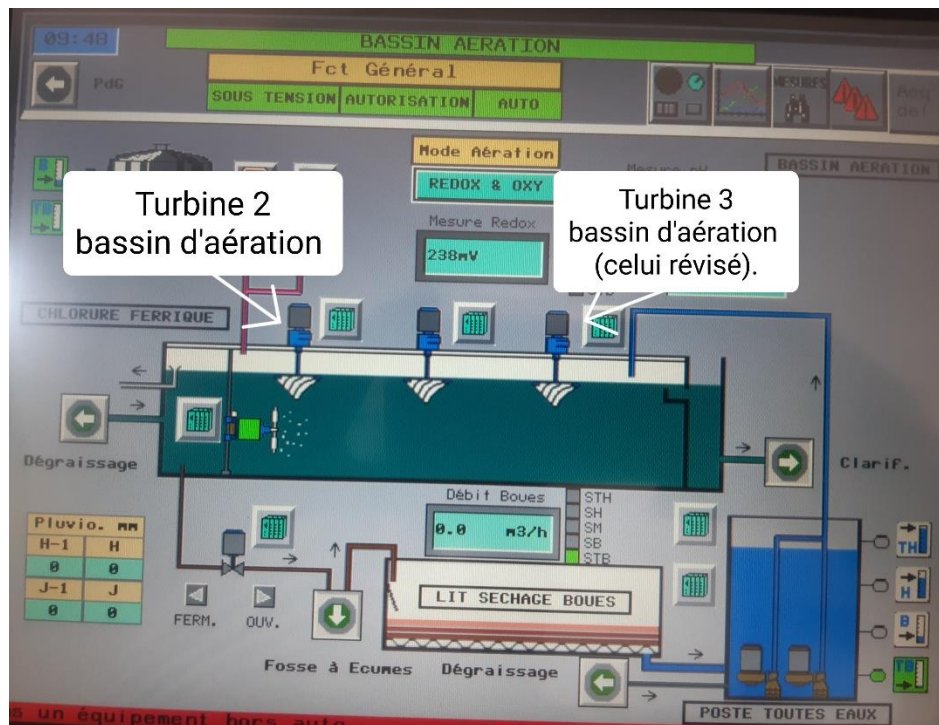


Image 1 : Synoptique du bassin d'aération

Les numéros de série sont les suivants :

Turbine 2 : 544/05/10



Turbine 3 : 543/05/10



Annexe 9 : Préconisation pour le débitmètre d'entrée

Cet annexe est le résumé du document « **12. Diagnostic métrologie n°2 le 6 mai 2019 COPIL n°2 en visio le 20 mai 2019** »

Informations et prescriptions de Fabien SEMAVOINE :

Afin d'assurer une mesure sur l'entrée de la STEU de Masseret et de trouver la solution la moins contraignante en exploitation, il ne reste après réflexion que la **solution du canal jaugeur à ressaut avec col rectangulaire.**

En effet, un col d'un autre type (triangulaire, trapézoïdale, exponentiel, linéaire...) ne pourrait engendrer que des bouchages trop rapides, compte-tenu de leurs faibles ouvertures de col, en présence d'eaux usées brutes; s'en suivrait une montée en charge avec mesures majorées du débit. Ces autres modèles de col demanderaient donc des temps d'exploitation trop importants (nettoyage plusieurs fois par jour).

Le plus adapté est : **Endress + Hauser : modèle QV303**

Les autres modèles restent possibles mais avec de nouvelles dégradations sur la mesure et/ou des contraintes supplémentaires d'exploitation, dans l'ordre :

- Hydrologic : modèle E1253E
- ISMA : modèle 200/80
- Hydreka : modèle Techniflow 94FL025
- Aqualabo : modèle AV100
- Cometec : modèle AMV100

Annexe 10 – Listes de documents précédemment remis

-  1. Réunion de lancement le 23 novemvre 2018.pptx
-  2. Diagnostic métrologie n°1 les 10 et 11 décembre 2018.pdf
-  3. Diagnostic STEU n°1 le 20 décembre 2018.pdf
-  4. Diagnostic STEU n°2 le 4 janvier 2019.pdf
-  5. Identifications microscopiques n°1 le 9 janvier 2019.pdf
-  6. Diagnostic STEU n°3 le 4 février 2019.pdf
-  7. Diagnostic STEU n°4 le 19 février 2019.pdf
-  8. Identifications microscopiques n°2 le 20 février 2019.pdf
-  9. Rapport INSA n°1 analyse période 201218_100319.pdf
-  10. Réunion de suivi COPIL n°1 le 18 mars 2019.pptx
-  11. Etat d'avancement de l'optimisation pilotage step de MASSERET 29_05_2019.pdf
-  12. Diagnostic métrologie n°2 le 6 mai 2019 COPIL n°2 en visio le 20 mai 2019.pdf
-  13. Rapport INSA n°2 au 30 juin 2019.pdf
-  14. Diagnostic STEU n°5 le 15 juillet 2019.pdf
-  15. Diagnostic STEU n°6 le 6 aout 2019.pdf
-  16. Diagnostic STEU n°7 le 11 septembre 2019.pdf
-  17. Diagnostic STEU n°8 le 22 aout 2019.pdf
-  18. Rapport INSA n°3 avril aout 2019.pdf
-  19. Réunion de suivi COPIL n°3 le 17 octobre 2019.pptx
-  20. Diagnostic STEU n°9 le 2 janvier 2020.pdf
-  21. Tableaux récapitulatifs diagnostics terrain.pdf
-  22. Rapport INSA n°4 octobre 2019 janvier 2020.pdf
-  23. Réunion de suivi COPIL n°4.pptx