



HAL
open science

Suivi de la ZRV de type “ bassin ” de Marguerittes (30). Bilan du fonctionnement à débit Q1 et Q2

Stéphanie Prost-Boucle, S. Papias, M. Masson, J. Aubert, V. Bourgeois,
Cecile Miege, Marina Coquery, C. Crétollier, J.M. Choubert, J. Panay, et al.

► To cite this version:

Stéphanie Prost-Boucle, S. Papias, M. Masson, J. Aubert, V. Bourgeois, et al.. Suivi de la ZRV de type “ bassin ” de Marguerittes (30). Bilan du fonctionnement à débit Q1 et Q2. [Rapport de recherche] irstea; AFB - Agence française pour la biodiversité. 2018, pp.148. hal-02608082

HAL Id: hal-02608082

<https://hal.inrae.fr/hal-02608082>

Submitted on 26 May 2021

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

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

Suivi de la ZRV de type « bassin » de Marguerittes (30)

Bilan du fonctionnement aux débits Q1 et Q2

Rapport final



Stéphanie PROST-BOUCLE, Sandrine PAPIAS
Jérémie AUBERT, Vincent BOURGEOIS, Clément CRETOLLIER, Jean-Marc
CHOUBERT, Marina COQUERY, Lysiane DHERRET, Olivier GARCIA,
Matthieu MASSON, Cécile MIEGE, Josselin PANAY
Catherine BOUTIN

Décembre 2018

AUTEURS

Stéphanie PROST-BOUCLE, Irstea de Lyon-Villeurbanne, stephanie.prost-boucle@irstea.fr

Sandrine PAPIAS, Irstea de Lyon-Villeurbanne, sandrine.papias@irstea.fr

Jérémie AUBERT, Irstea de Lyon-Villeurbanne, jeremie.aubert@irstea.fr

Vincent BOURGEOIS, Irstea de Lyon-Villeurbanne, vincent.bourgeois@irstea.fr

Jean-Marc CHOUBERT, Irstea de Lyon-Villeurbanne, jean-marc.choubert@irstea.fr

Marina COQUERY, Irstea de Lyon-Villeurbanne, marina.coquery@irstea.fr

Clément CRETOLLIER, Irstea de Lyon-Villeurbanne, clement.cretollier@irstea.fr

Lysiane DHERRET, Irstea de Lyon-Villeurbanne, lysiane.dherret@irstea.fr

Olivier GARCIA, Irstea de Lyon-Villeurbanne, olivier.garcia@irstea.fr

Matthieu MASSON, Irstea de Lyon-Villeurbanne, matthieu.masson@irstea.fr

Cécile MIEGE, Irstea de Lyon-Villeurbanne, cecile.miege@irstea.fr

Josselin PANAY, Irstea de Lyon-Villeurbanne, josselin.panay@irstea.fr

Catherine BOUTIN, Irstea de Lyon-Villeurbanne, catherine.boutin@irstea.fr

CORRESPONDANTS

Afb : **Estérelle Villemagne**, Direction recherche, expertise et développement des compétences, esterelle.villemagne@afbiodiversite.fr


Irstea : **Catherine Boutin**, Centre de Lyon-Villeurbanne, catherine.boutin@irstea.fr

Droits d'usage : accès public

Niveau géographique : national

Couverture géographique : France

Niveau de lecture : professionnels, décideurs

<p>AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITÉ ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT</p>	<p>Suivi de la ZRV de type « bassin » de Marguerittes (30)</p> <p>Bilan du fonctionnement</p> <p>Rapport final</p>	
--	--	---

• **SOMMAIRE**

1. AVANT-PROPOS	6
2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ET BILAN HYDRIQUE DE LA ZRV	8
2.1 Débits en eaux au sein de la ZRV	9
2.1.1 Débits apportés sur la ZRV	10
2.1.1.1 Rappel des débits nominaux de la ZRV	10
2.1.1.2 Débits mesurés.....	11
2.1.2 Evolution des débits dans le B1.....	14
2.1.3 Evolution des débits dans B2.....	15
2.2 Suivi météorologique.....	17
2.2.1 Pluviométrie	18
2.2.2 Evaporation et évapotranspiration	20
2.3 Stockage dans B1.....	24
2.4 Bilan hydrique	26
2.5 Analyse du fonctionnement hydraulique	30
2.5.1 Traçages.....	30
2.5.2 Lissage hydraulique	37
2.5.3 Capacité de décantation dans le B1	39
3. DEPOTS DE BOUES.....	41
3.1 Localisation et volumes accumulés.....	41
3.2 Qualité des boues et évolution au sein du B1	44
3.3 Qualité des boues et évolution au sein de la ZRV pour les métaux	48
3.3.1 Préparation et analyse des échantillons	48
3.3.2 Concentrations en métaux obtenues dans les boues	49
3.3.3 Evolution spatiale de la concentration en métaux dans les boues	50
4. EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU : ANALYSES DES PARAMETRES MAJEURS (DCO, DBO5, MES, C, N ET P)	53

4.1	Les matières organiques dans le compartiment eau.....	53
4.1.1	Qualité de l'eau introduite en ZRV et charges appliquées.....	53
4.1.2	Evolution des concentrations entrée-sortie de la ZRV et au cours de la période d'étude 57	
4.1.3	Evolution des concentrations au sein de la ZRV.....	59
4.1.4	Charges et rendements (bilans 24h Irstea)	60
4.1.5	Le carbone organique (COT, COD).....	64
4.2	L'azote dans le compartiment eau.....	65
4.2.1	Qualité de l'eau introduite dans la ZRV et charges appliquées.....	65
4.2.2	Evolution des concentrations entrée-sortie de la ZRV au cours de la période d'étude	67
4.2.3	Evolution des charges en N-NH ₄ ⁺ et estimation des rendements de nitrification.....	73
4.2.4	Evolution des charges en N-NO ₃ ⁻ et estimation de la dénitrification.....	76
4.2.5	Evolution des charges en NGL.....	79
4.2.6	Evolution des concentrations au cours de la ZRV	82
4.2.7	Charges et rendements (bilans 24h Irstea)	83
4.2.8	Charges en azote	85
4.3	Le phosphore dans le compartiment eau.....	88
4.3.1	Evolution des concentrations au cours de la période d'étude.....	88
4.3.2	Evolution des concentrations au cours de la ZRV	89
4.3.3	Charges et rendements (bilans 24h Irstea)	90
5.	MICROPOLLUANTS DANS L'EAU	94
5.1	Rappels méthodologiques.....	94
5.1.1	Campagnes de prélèvement.....	94
5.1.2	Méthodes de prélèvement et d'analyse	95
5.2	Concentrations en métaux mesurées aux différents points de la ZRV	97
5.2.1	Fréquences de quantification et variabilité (journalière et inter-campagnes)	97
5.2.1.1	Fréquences de quantification.....	97
5.2.1.2	Variabilité journalière et inter-campagnes	97
5.2.2	Concentrations en entrée de la ZRV (point 2).....	99
5.2.2.1	Répartition dissous/particulaire.....	99
5.2.2.2	Comparaison des résultats ZRV avec ceux d'AMPERES et d'ARMISTIQ.....	100
5.2.3	Evolution des concentrations dissoutes dans la ZRV	102
5.3	Concentrations en micropolluants organiques mesurées aux différents points de la ZRV	104
5.3.1	Concentrations en micropolluants organiques. Exemple de la campagne de mars 2015 – Echantillonnage moyen 24 heures d'eaux	104
5.3.1.1	Concentrations en entrée de la ZRV (point 2).....	106

5.3.1.2	Concentrations dans la ZRV : points 3 (sortie B1), 6, 9 et 12 (dans le B2)	106
5.3.1.3	Evolution des concentrations au sein de la ZRV en mars 2015.....	106
5.3.2	Concentrations en micropolluants organiques mesurées en mars 2015 - Echantillonnage passif intégré sur 14 jours (POCIS)	107
5.4	Rendements d'élimination des micropolluants	112
5.5	Conclusions	114
6.	DISCUSSION / BILANS DE MATIERES	115
6.1	Bilan sur l'azote (N)	115
6.2	Bilan sur le phosphore (P)	119
7.	CONCLUSION	123
8.	BIBLIOGRAPHIE	126
9.	TABLE DES ILLUSTRATIONS	127
10.	ANNEXES.....	133
	Annexe 1 : Analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 en 2017 et 2018.....	133
	Annexe 2 : Bilans de charges en azote et phosphore à débits Q1 et Q2	134
	Annexe 3 : Micropolluants - Métaux.....	136
	Annexe 4 : Micropolluants - Micropolluants organiques	140
11.	REMERCIEMENTS	147

1. AVANT-PROPOS

La conception de la ZRV de Marguerittes est détaillée dans le document qui décrit le contexte général de création de cette ZRV (Boutin et Walaszek, 2014). Le Tableau 1 : Dimensions prévues des bassins et des zones avec de la végétation Tableau 1 et la Figure 1 ci-après résument les caractéristiques géométriques des 2 bassins, constitutifs de la ZRV, fonctionnant en série.

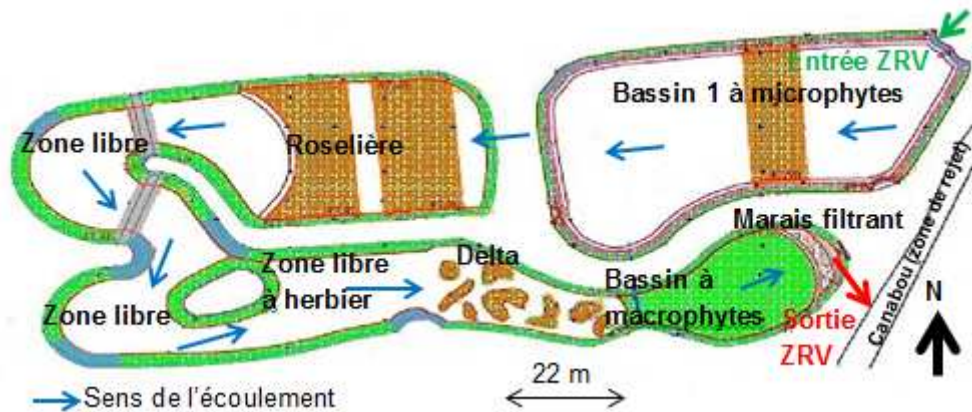


Figure 1 : Plan de la ZRV

Tableau 1 : Dimensions prévues des bassins et des zones avec de la végétation

Zones		B1		B2					Total B2	Total ZRV	
		Bassin à microphytes	Roselière	Bassin en eau libre	Zone libre à herbier	Zone de delta	Bassin à macrophytes	Marais filtrant			
Hauteur d'eau moyenne	m	1	0,2	0,9	0,7	0,3	0,2	0,3			
Volume	m ³	3575	590	2070	665	180	284	30	3819	7394	
surfac	plantée	m ²	365	1069	0	740	142	822	55	2828	3193
	totale		3700	1575	2645	1070	660	1000	100	7050	10750

Le bassin B1 est alimenté par l'eau usée traitée par une station d'épuration de type boues activées en aération prolongée avec déphosphatation physicochimique.

Le suivi est scindé en 2 périodes distinctes :

- Celle au débit nominal (dénommé Q1), alors que toutes les eaux usées traitées issues de la station d'épuration transitent dans la ZRV,
- Celle au débit dénommé Q2, alors que toutes les eaux usées traitées issues de la station d'épuration transitent dans B1 et qu'une partie seulement transite dans B2, le complément étant déversé directement au milieu récepteur.

Ce mode expérimental devait permettre d'analyser l'impact du temps de séjour hydraulique sur les évolutions des qualités des eaux transitant dans la ZRV.

Les périodes d'acquisition des données analysées sont différentes selon les paramètres :

- Enregistrement des données hydriques : d'octobre 2013 à mars 2017
- Paramètres chimiques :
 1. Majeurs : Prélèvements ponctuels et bilans 24h : d'octobre 2013 à mars 2017
Enregistrement en continu : d'octobre 2013 à mars 2017
 2. Micropolluants : bilans 24h de 2013 et 2014
- Prélèvements de boues (dénommé aussi parfois dépôts) par bathymétrie une fois chaque année, de 2014 à 2018
- Indicateurs de contamination fécale : d'octobre 2013 au 15 juin 2015
- Végétaux : biomasse et qualité de juillet 2014 à octobre 2015

Le suivi du compartiment « végétal » fait l'objet d'un document séparé : Guerreiro H *et al*, à venir.

Le suivi des indicateurs de contamination fécale fait également l'objet d'un rapport séparé : Vivant *et al*, 2017.

Le compartiment « sol » n'est pas étudié sur ce site, les bassins ayant été étanchéifiés.

Ce rapport s'attache à présenter les résultats et analyses du suivi de la ZRV de Marguerittes selon les aspects hydrauliques et des évolutions de qualité des différents paramètres physicochimiques contenues dans les eaux, sans exclure les boues.

Une conclusion sous forme de bilan de masse, intègre les résultats du compartiment « végétal ».

2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ET BILAN HYDRIQUE DE LA ZRV

Au cours d'une journée, des échanges d'eau qui entraînent une variation du volume d'eau présent dans la ZRV sont observés entre les bassins et le milieu extérieur. Les échanges sont les suivants (Figure 2) :

- Les échanges entraînant une augmentation de la masse d'eau de la ZRV :
 - Le débit d'eau en entrée de la ZRV (**Qe**, en m³/j)
 - La pluviométrie (**P**, en mm/j ou m³/j)
- Les échanges entraînant une diminution :
 - Le débit d'eau en sortie de la ZRV (**Qs**, en m³/j)
 - L'évaporation stricte (**EVPO**, en mm/j ou m³/j)
 - L'eau prélevée par évapotranspiration (**ETR**, en mm/j ou m³/j)
 - L'eau infiltrée dans les sols des bassins de la ZRV (**I**, en mm/j ou m³/j)
- Les échanges entraînant une augmentation ou une diminution :
 - Le stockage (ou marnage) dans le bassin 1 (**S1**, en mm/j ou m³/j)

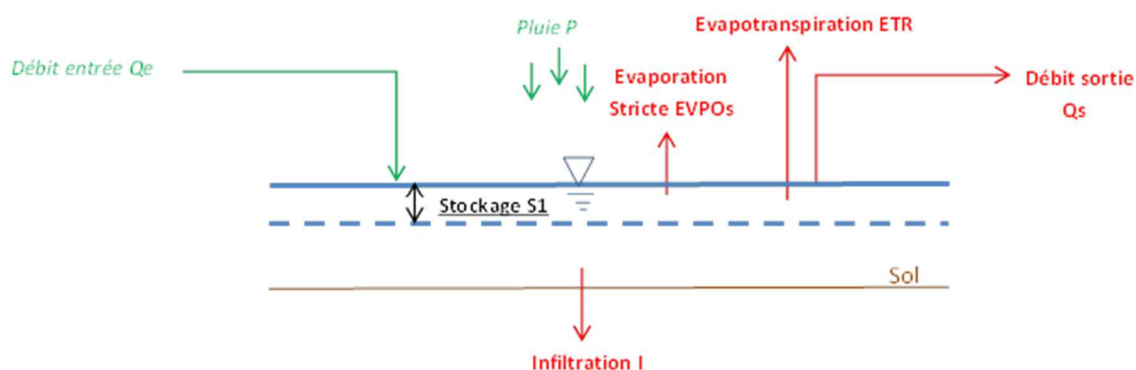


Figure 2 : Schéma des échanges d'eau dans la ZRV

Ces échanges se traduisent par une différence entre le débit en entrée et le débit en sortie de ZRV. Pour conduire le raisonnement en débit, il est nécessaire de rapporter les échanges : pluie, évaporation, évapotranspiration, marnage et infiltration à chaque surface concernée (Tableau 2).

Tableau 2 : Quelle surface concernée par quel échange ?

Echange	Pluie	Marnage	Evaporation	Evapotranspiration	Infiltration
Dénomination	P	S1	EVPOs	ETR	I
Surface (projet) concernée	totale des bassins	totale du B1	en eau libre	colonisée par des végétaux	non étanchée
	10 750m ²	3 700 m ²	< 7 557 m ²	> 3 193 m ²	7 415m ²

Après cette précision, la différence entre les débits d'entrée et de sortie de ZRV peut être exprimée selon l'équation suivante :

$$Q_e - Q_s = EVPO + ETR + I + S1 - P = \Delta$$

Les chapitres suivants détaillent chacun de ces éléments de manière indépendante. Certains d'entre eux sont mesurés par les matériels installés tels que les débitmètres ou les stations de données météorologiques ; d'autres sont issus de la bibliographie, c'est le cas de l'évapotranspiration. Enfin, une interprétation du bilan ainsi obtenu est proposée.

2.1 Débits en eaux au sein de la ZRV

La part de données existantes enregistrées à Marguerittes et ayant pu être utilisées pour l'analyse du fonctionnement de la ZRV sont présentées dans le Tableau 3.

La proportion de données existantes varie en fonction de la qualité des enregistrements, altérée par :

- des coupures de courant électrique,
- l'action des rongeurs sur les câbles de sondes,
- les difficultés de transmission des données du fait de l'éloignement et de la surface importante du site,
- des végétaux bloqués sur la lame déversante et modifiant la hauteur d'eau,
- des artéfacts de mesure,
- etc.

Tableau 3 : Pourcentage de données existantes sur les mesures de débits selon les points de mesure (sur la période Juillet-Décembre 2014, année 2015, année 2016 et Janvier-Avril 2017)

Sources Dénomination	Données auto surveillance Sortie station d'épuration	Mesures Irstea		
		B1 sortie	B2 sortie	
% des données disponibles pour l'analyse en 2014	100 %	-	0	38 %
% des données disponibles pour l'analyse en 2015	99 %	25 %	58 %	59 %
% des données disponibles pour l'analyse en 2016	100 %	100 %	79 %	66 %
% des données disponibles pour l'analyse en 2017	100%	58%	78%	83%

Les pourcentages de données présentés dans le Tableau 2 sont calculés sur la période de juillet à décembre 2014, janvier à décembre 2015 et janvier à février 2016. En 2014, la grande majorité des données de débits est manquante en raison de divers problèmes de mesures tels que des coupures de courant, un dérèglement du débitmètre dû à l'encrassement ou encore des valeurs aberrantes qui ont été retirées manuellement du jeu de données.

Concernant le débit sortant de la station d'épuration, il avait été constaté à plusieurs reprises une différence d'environ 20 % entre le débit mesuré par Irstea et le débit fourni par le suivi de l'autosurveillance. Après investigation, il semblerait que la canne injectant les bulles d'air du débitmètre « bulle à bulle » était proche de l'arrivée souterraine de l'eau traitée dans ce canal venturi de sortie de station d'épuration. Cette proximité influence la mesure par la canne, enregistre une surpression et surestime alors la hauteur d'eau. Après l'installation d'une canne coudée (au lieu de droite), on ne constate plus qu'une différence de 3 % en moyenne, il a donc été décidé d'utiliser les données de débits de l'autosurveillance pour la période d'étude (jusqu'en septembre 2015 et lorsque des données manquent : coupure électrique par exemple).

En sortie du B1, une mesure de débit a été réinstallée en mars 2015 en utilisant un débitmètre bulle à bulle et la lame déversante déjà installée. Pour rappel, cette mesure de débit intermédiaire avait été prévue par un manchon déversoir posé dans la canalisation reliant B1 et B2. La montée du niveau d'eau dans le bassin 2 a partiellement noyé cette canalisation reliant les deux bassins et rendu ainsi impossible la mesure initiale.

Il est également important de noter que les lames déversantes installées en sortie du B1 et du B2 étaient prévues pour des hauteurs d'eau maximales de 11,5 et 9,5 cm respectivement. Cela correspond à un débit maximal de 100 et 75 m³/h. Or, en 2015 avec l'augmentation des débits entrants sur la ZRV, cette valeur a souvent été atteinte, notamment en temps de pluie et le matériel installé ne permettait pas d'accéder à ces débits supérieurs. Ces lames déversantes ont donc été changées en juin 2015 pour le B1 et en août 2015 pour le B2 afin de pouvoir mesurer des débits plus importants.

2.1.1 Débits apportés sur la ZRV

2.1.1.1 Rappel des débits nominaux de la ZRV

Tableau 4 : Débits nominaux de fonctionnement

Échéance	Débit temps sec			Débit temps de pluie	
	moyen		pointe	moyen	pointe
	[m ³ /j]	[m ³ /h]			
2011	1224	51	153	2024	267
2015	2250	94	281	3050	396
2021	3750	156	469	4550	583

Depuis sa mise en service et jusqu'en février 2016, la ZRV a fonctionné à débit nominal, dit « Q1 », c'est-à-dire dans les conditions nominales définies par le constructeur (Tableau 4). La totalité des eaux usées traitées issues de la station d'épuration est déversée dans les deux bassins en série de la ZRV, excepté les éventuelles consignes de by-pass, soit en sortie de station d'épuration, soit au sein même du 1er bassin B1.

A partir de mars 2016, les eaux usées traitées ont continué d'être intégralement déversées dans le B1 puis seulement une partie de ces eaux transitait vers le B2, le reste étant directement by-passé vers le milieu récepteur. Le réglage de cette vanne intermédiaire devait être fixé à 50 % afin de doubler le temps de séjour. Le réglage s'est avéré plus délicat que prévu et le pourcentage d'eau by-passée a varié de 19 à 54 % selon les mois.

Tableau 5 : Nombre de jours où le débit est supérieur au débit nominal de temps sec (2250 m³/j) et de temps de pluie (3050 m³/j)

		Nombre de jours où le débit d'entrée ZRV	
		2250 à 3050 m ³ /j	> 3050 m ³ /j
2014	Juillet	1	0
	Août	0	0
	Septembre	0	0
	Octobre	0	0
	Novembre	3	4
	Décembre	3	1
2015	Janvier	3	2
	Février	3	0
	Mars	11	2

	Avril	4	2
	Mai	4	0
	Juin	1	0
	Juillet	0	0
	Août	0	0
	Septembre	0	0
	Octobre	1	0
	Novembre	0	0
	Décembre	0	0
2016	Janvier	0	0
	Février	1	0
	Mars	0	0
	Avril	0	0
	Mai	0	0
	Juin	0	0
	Juillet	0	0
	Août	0	0
	Septembre	0	0
	Octobre	2	1
	Novembre	1	2
	Décembre	1	0
2017	Janvier	1	0
	Février	0	0
	Mars	0	1
	Avril	2	0

Le Tableau 4 montre le nombre de jours par mois où le débit a été supérieur au débit nominal de temps sec (>2250 m³/j) et au débit nominal de temps de pluie (>3050 m³/j) définis dans le Tableau 4. La période d'étude de juillet 2014 à avril 2017 représente 1035 jours.

Ainsi, les jours de surcharge de temps sec (42 j) sont peu fréquents. De juillet 2014 à avril 2017, les débits journaliers sont restés inférieurs au débit nominal 94 % du temps. Ils ont été supérieurs au débit nominal pendant 4 % du temps, majoritairement en période hivernale 2015 avec notamment un mois exceptionnel en mars.

Enfin, les débits de surcharge de temps de pluie (13 j) sont encore plus rares, les débits ont été supérieurs au débit nominal de temps de pluie seulement 1 % du temps. L'obtention de tels débits est généralement consécutive à une pluie qui dure sur plusieurs jours.

2.1.1.2 Débits mesurés

Tableau 6 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie de la ZRV et pertes en eau associées

		Entrée ZRV (Entrée B1)		Sortie ZRV (Sortie B2)		Pertes	
		<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen m ³ /j	<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen m ³ /j	Diff de débits entrée-sortie moyenne m ³ /j	% du débit d'entrée
2014	Juillet	31/31	1122	0/31	-	-	-
	Août	31/31	1147	0/31	-	-	-
	Septembre	30/30	1173	24/30	995	159	14
	Octobre	31/31	1131	19/31	1056	64	6
	Novembre	30/30	1804	5/30	1002	200	11

	Décembre	31/31	1783	22/31	1296	307	17
2015	Janvier	31/31	1856	0/31	-	-	
	Février	28/28	1865	0/28	-	-	
	Mars	31/31	2210	10/31	1634	288	13
	Avril	30/30	2009	15/30	1447	167	8
	Mai	31/31	1727	25/31	1355	222	13
	Juin	26/30	1314	30/30	1123	213	16
	Juillet	31/31	1140	31/31	930	211	18
	Août	31/31	1179	12/31	994	154	13
	Septembre	30/30	1199	13/31	1133	98	8
	Octobre	31/31	1489	15/31	1449	121	8
	Novembre	30/30	1365	30/30	1439	-74	5
	Décembre	31/31	1109	31/31	1019	90	8
	2016	Janvier	31/31	1200	20/31	987	149
Février		29/29	1400	18/29	1297	104	7
Changement de débit sur le B2							
2016	Mars	31/31	1320	31/31	742	Calcul inadapté car une partie du volume d'eau est by-passée à l'entrée du B2	
	Avril	30/30	1353	14/30	1142		
	Mai	31/31	1232	8/31	815		
	Juin	26/30	1139	22/30	821		
	Juillet	31/31	1111	24/31	760		
	Août	31/31	1082	6/31	340		
	Septembre	30/30	1094	30/30	835		
	Octobre	31/31	1415	27/31	1043		
	Novembre	30/30	1483	20/30	816		
2017	Décembre	31/31	1400	25/31	747		
	Janvier	31/31	1441	17/31	764		
	Février	28/28	1396	21/28	960		
	Mars	31/31	1362	31/31	810		
	Avril	30/30	1316	30/30	760		

Les valeurs moyennées par mois de la période (Tableau 5) montrent un premier ordre de grandeur des apports hydrauliques et de leur restitution au milieu hydraulique superficiel.

Les débits moyens (en moyenne mensuelle) entrants au sein de la ZRV restent nettement en deçà des débits nominaux journaliers de temps secs prévus en 2015, excepté en mars où le débit moyen s'en approche.

Sur la période d'étude à débit Q1, la moyenne des débits moyens journaliers est de 1500 m³/j tandis qu'à débit Q2 elle est de 1300 m³/j. La ZRV fonctionne donc en sous charge hydraulique, à un taux de charge de respectivement 70 % et 60 % de ses capacités nominales pendant l'étude de Q1 et Q2.

Les données de débits mesurés lors des bilans 24h Irstea sont consignées dans le Tableau 7 suivant, globalement proches du débit nominal de la station. Lors des bilans de 2016, il y a eu des pluies importantes ce qui a entraîné un plus fort débit en entrée de ZRV.

Tableau 7 : Débits mesurés lors des bilans 24h Irstea (nov. 2014 à oct. 2015)

	Entrée ZRV			Sortie B1	Sortie B2
	Nominal	Mesuré	Taux de charge hydraulique		
18/11/2014	1224	1320	108	1307	1176
19/11/2014	1224	1281	105	1268	1141
10/03/2015	2250*	1775	79	1757	1556
11/03/2015	2250*	1898	84	1499	1547
15/10/2015	2250*	1351	60	1262	1141

16/10/2015	2250*	1344	60	1333	1210
10/10/2016	2250*	1177	52	1031	378
11/10/2016	2250*	994	44	865	603
12/10/2016	2250*	1078	48	971	622
13/10/2016	2250*	2511	112	1834	1201
14/10/2016	2250*	3529	157	3800	3057
15/10/2016	2250*	1545	69	1498	1399
16/10/2016	2250*	1329	59	1183	981
17/10/2016	2250*	2982	133	2939	1800
18/10/2016	2250*	1399	62	1445	1135
19/10/2016	2250*	1332	59	1266	1032

* Prévisions d'évolution selon Nîmes Métropole (raccordements progressifs jusqu'à 2025).

A débit Q1, les débits moyens (en moyenne mensuelle) sortants sont plus faibles que les débits entrants. La comparaison est entachée du nombre de données disponibles très différentes et sur certains mois, très peu nombreuses. Les pertes moyennes sont calculées sur les jours où les deux débits coexistent et représentent environ 150 m³/j soit 10 % du débit entrant sur la ZRV.

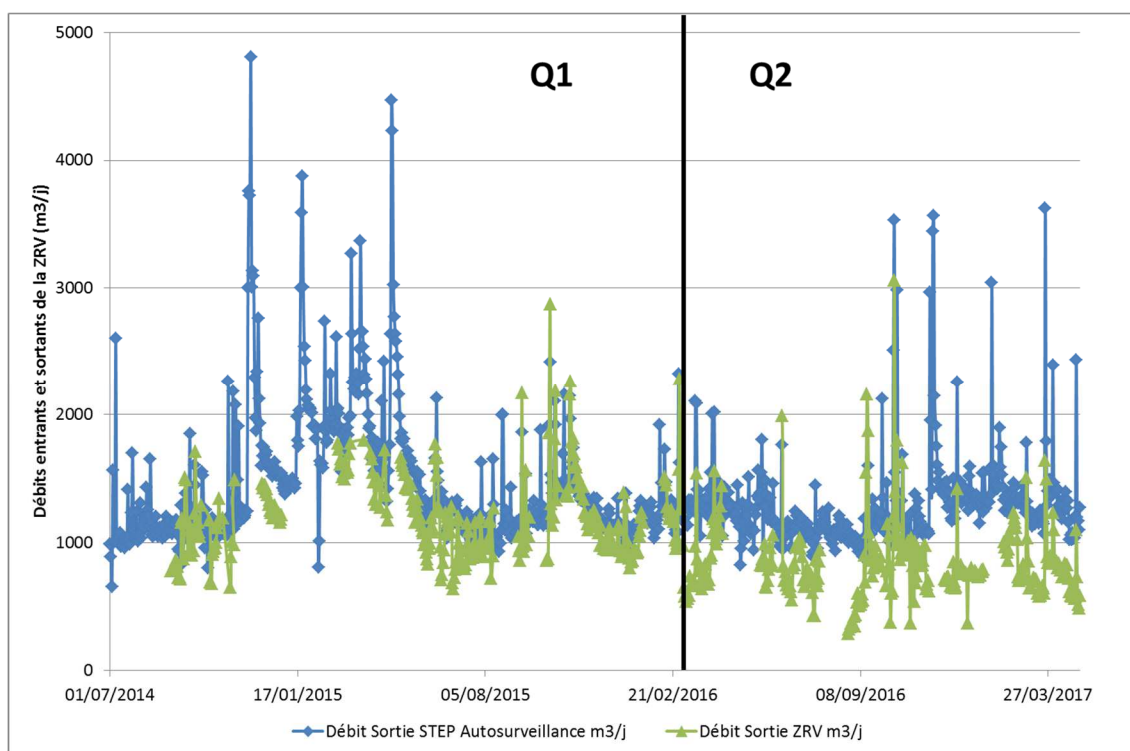


Figure 3 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie de ZRV en m³/j de juillet 2014 à avril 2017

Les évolutions dans le temps des débits journaliers (Figure 3) confirment que les débits sortants sont inférieurs aux débits entrants sauf pour quelques jours qui correspondent à des jours ou lendemains de pluie. Sur les données existantes, les deux courbes présentent souvent des allures similaires. Le lissage hydraulique sera étudié ultérieurement.

Il est intéressant de remarquer l'évolution du débit entrant dans la ZRV : il augmente à partir de fin novembre 2014. Il est ensuite resté élevé jusqu'à fin mai 2015. Et l'on avait attribué cette évolution aux travaux de raccordement réalisés début 2015. Pourtant, les débits se stabilisent à des valeurs plus faibles par la suite pour reprendre ponctuellement des valeurs plus fortes à partir de septembre 2016. Ces évolutions, sont-elles à relier à une gestion nouvelle des débits excédentaires à l'amont général de la station d'épuration ?

A débit Q2, une partie de l'eau est by-passée : le calcul des pertes d'eau entre l'entrée et la sortie n'a donc pas de sens. Les valeurs (Tableau 6) et courbes (Figure 3) sont données à titre indicatif afin d'avoir les ordres de grandeur des volumes apportés à la ZRV et restitués au milieu tout au long de la période d'étude.

2.1.2 Evolution des débits dans le B1

Afin d'affiner le bilan hydraulique, il est nécessaire d'étudier le comportement de chaque bassin. Pour cela, la mesure du débit intermédiaire est indispensable et celle-ci a été réinstallée fin février 2015. Il n'y a donc pas de données pour ce débit sur la période antérieure.

Les valeurs moyennées par mois de la période (Tableau 8) montrent un premier ordre de grandeur des débits entrants et sortants du B1. Les pertes en eau sont calculées en faisant la différence entre les débits d'entrée et de sortie journaliers. Cette valeur est ensuite moyennée au mois. Elle ne correspond donc pas à la simple différence entre les débits moyens d'entrée et de sortie.

Tableau 8 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie du B1 et pertes en eau associées

		Entrée ZRV (Entrée B1)		Intermédiaire ZRV (Sortie B1)		Pertes moyennes		
		<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen (m ³ /j)	<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen (m ³ /j)	m ³ /j	% par rapport au débit moyen mensuel entrant	
2014	Juillet	31/31	1122	0/31	-	-	-	
	Août	31/31	1147	0/31	-	-	-	
	Septembre	30/30	1173	0/30	-	-	-	
	Octobre	31/31	1131	0/31	-	-	-	
	Novembre	30/30	1804	0/30	-	-	-	
	Décembre	31/31	1783	0/31	-	-	-	
2015	Janvier	31/31	1856	0/31	-	-	-	
	Février	28/28	1865	2/28	1898	84	5	
	Mars	31/31	2210	5/31	1714	230	10	
	Avril	30/30	2009	14/30	1563	30	1	
	Mai	31/31	1727	28/31	1603	36	2	
	Juin	26/30	1314	30/30	1295	47	4	
	Juillet	31/31	1140	16/31	1168	21	2	
	Août	31/31	1179	4/31	1524	212	18	
	Septembre	30/30	1199	22/30	1055	164	14	
	Octobre	31/31	1489	31/31	1461	28	2	
	Novembre	30/30	1365	30/30	1369	-5	0	
	Décembre	31/31	1109	31/31	1057	51	5	
2016	Janvier	31/31	1200	20/31	1102	34	3	
	Février	31/29	1400	13/29	1364	-16	-1	
	Mars	31/31	1320	27/31	1300	-28	-2	
	Avril	30/30	1353	27/30	1391	-91	-7	
	Mai	31/31	1232	8/31	1117	256	21	
	Juin	26/30	1139	30/30	1116	22	2	
	Juillet	31/31	1111	31/31	1075	37	3	
	Août	31/31	1082	31/31	872	210	19	
	Septembre	30/30	1094	30/30	1161	-67	-6	
	Octobre	31/31	1415	28/31	1319	84	6	
	Novembre	30/30	1483	20/30	1141	-29	-2	
	Décembre	31/31	1400	31/31	1410	-10	-1	
	2017	Janvier	31/31	1441	7/31	1516	-125	-9
		Février	28/28	1396	21/28	1270	66	5

	Mars	31/31	1362	31/31	1360	3	0
	Avril	30/30	1316	27/30	1326	-41	-3

Les débits moyens journaliers (en moyenne mensuelle) entrants et sortants du B1 ont des valeurs très proches comme le montrent les pertes moyennes mensuelles observées. La perte en eau est en moyenne de 3 % par rapport au débit entrant sur toute la période d'étude. Cette différence est variable selon les mois, elle peut être due à l'influence de l'évaporation ou à des pluies importantes. Les débitmètres étaient également régulièrement réajustés ce qui peut induire des petites différences de mesures notamment les mois où peu de données sont disponibles. Sachant que les incertitudes sur les débitmètres avoisinent 10 %, il semble que les pertes en eau soient négligeables. Les bassins de la ZRV ayant été étanchés par géotextile ou par compactage de l'argile, ce résultat est cohérent.

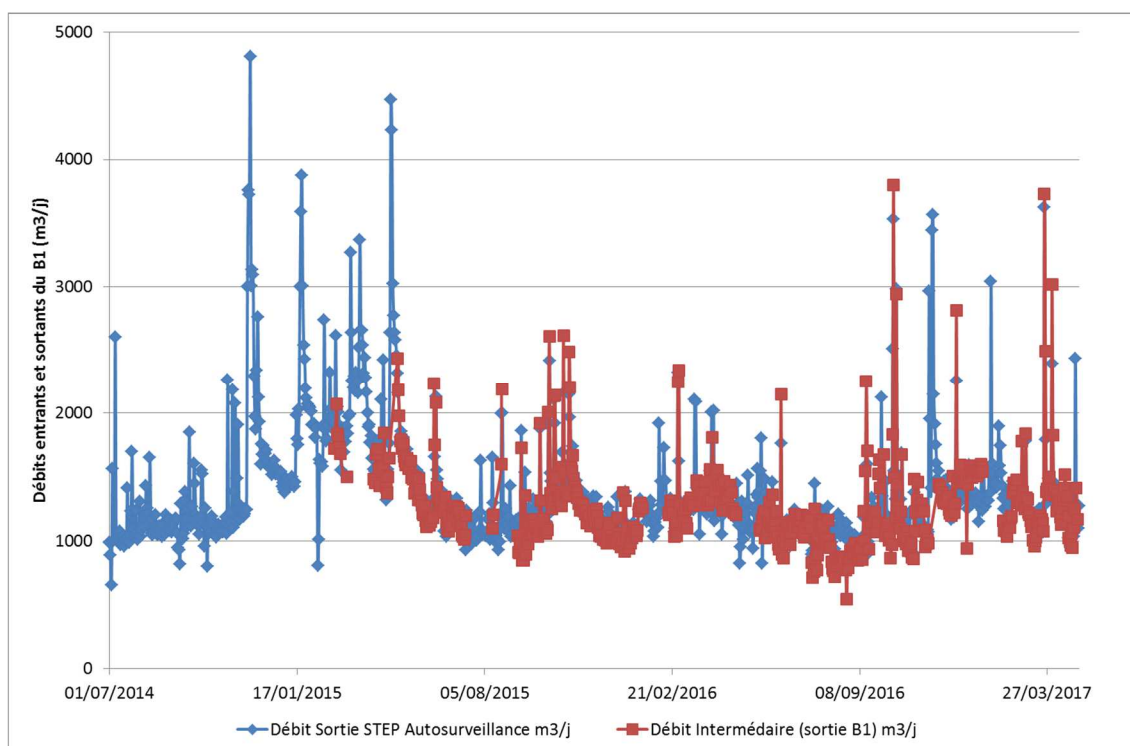


Figure 4 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie du B1 en m³/j de juillet 2014 à avril 2017

La Figure 4 illustre la similarité des deux courbes de débit entrant et sortant du bassin 1. Les pointes de débit restent visibles en sortie du B1 mais semblent parfois être atténuées.

2.1.3 Evolution des débits dans B2

Le Tableau 9 présente l'évolution des débits dans le bassin 2. Dans le B2, les débits introduits en première période de suivi (Q1) s'établissent en moyenne à 1400 m³/j. En deuxième période, à débit Q2, ces débits sont évalués à 1240 m³/j. Il a été difficile de fixer un taux de bypass constant et à chaque passage d'Irstea, il était nécessaire de régler à nouveau la vanne de répartition. De ce fait, le taux de bypass, soit la proportion d'eau qui rejoint directement ce milieu récepteur sans passer par le B2, varie de 19 à 54 % selon les mois (Tableau 9) ce qui représente respectivement 263 et 772 m³. La diminution d'apport d'eaux dans le B2 n'est pas aussi importante que souhaitée et risque de compromettre l'analyse prévue de l'impact du temps de séjour sur l'évolution des qualités d'eau.

A débit Q1, les pertes moyennes correspondent principalement aux incertitudes de mesure.

Lors de la mise en place du bypass début mars 2016, à débit Q2, les volumes qui partent dans le bypass sont également inclus dans ces valeurs. Un débitmètre a été installé pour mesurer le débit du bypass. Malheureusement, celui-ci s'est très souvent obstrué ou décalé dans la canalisation ce qui n'a pas permis une mesure pertinente de ce débit.

D'après les conclusions à Q1 montrant que les pertes du B2 (évaporation ou évapotranspiration) sont incluses dans les incertitudes de mesure, le débit du bypass est défini comme la différence entre le débit intermédiaire et celui de la sortie, les débits introduits ou sortant du B2 étant considérés comme égaux entre eux.

Tableau 9 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie du B2 et pertes en eau associées

		Intermédiaire ZRV (Sortie B1)		Sortie ZRV (Sortie B2)		Pertes moyennes		
		<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen (m ³ /j)	<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	Débit moyen (m ³ /j)	<i>nbre de j avec des données existantes/ nbre de j du mois</i>	(m ³ /j)	% du débit moyen mensuel intermédiaire
2014	Juillet	0/31	-	0/31	-		-	-
	Août	0/31	-	0/31	-		-	-
	Septembre	0/30	-	24/30	995		-	-
	Octobre	0/31	-	19/31	1056		-	-
	Novembre	0/30	-	5/30	1002		-	-
	Décembre	0/31	-	22/31	1296		-	-
2015	Janvier	0/31	-	0/31	-		-	-
	Février	2/28	1898	0/28	-		-	-
	Mars	5/31	1714	10/31	1634	5/31	51	3
	Avril	14/30	1563	15/30	1447	11/30	166	11
	Mai	28/31	1603	25/31	1355	25/31	176	11
	Juin	30/30	1295	30/30	1123	30/30	171	13
	Juillet	16/31	1168	31/31	930	16/31	290	25
	Août	4/31	1524	12/31	994	2/31	72	5
	Septembre	22/30	1055	13/31	1133	13/31	-99	-9
	Octobre	31/31	1461	15/31	1449	15/31	86	6
	Novembre	30/30	1369	30/30	1439	30/30	-70	-5
	Décembre	31/31	1057	31/31	1019	31/31	38	4
2016	Janvier	20/31	1102	20/31	987	20/31	115	10
	Février	13/29	1364	18/29	1297	12/29	56	4
		Changement de débit sur le B2				Bypass		
	Mars	27/31	1300	31/31	742	27/31	596	45
	Avril	27/30	1391	14/30	1142	12/30	362	27
	Mai	8/31	1117	8/31	815	8/31	301	24
	Juin	30/30	1116	22/30	821	22/30	318	28
	Juillet	31/31	1075	24/31	760	24/31	298	27
	Août	31/31	872	6/31	340	6/31	532	49
	Septembre	30/30	1161	30/30	835	30/30	326	30
	Octobre	28/31	1319	27/31	1043	31/31	263	19
	Novembre	20/30	1141	20/30	816	20/30	326	22
	Décembre	31/31	1410	25/31	747	25/31	667	48
	2017	Janvier	7/31	1516	17/31	764	7/31	772
Février		21/28	1270	21/28	960	21/28	310	22
Mars		31/31	1360	31/31	810	31/31	550	40
Avril		27/30	1326	30/30	760	27/30	562	43

Les valeurs moyennées par mois de la période (Tableau 9) montrent un ordre de grandeur des débits en sortie du B1 (= entrée du B2 à débit Q1) et rejetés au milieu récepteur. Les pertes moyennes n'ont pu être calculées que lorsque les données concernant les deux débits étaient disponibles, c'est à dire à partir d'avril 2015 seulement, et ce de façon très inégale sur la période d'étude.

A débit Q1, excepté pour le mois de septembre, les débits moyens (en moyenne mensuelle) sortants du B2, et donc de la ZRV, sont inférieurs aux débits entrants dans ce bassin d'environ 6 % soit 88 m³ en moyenne, avec toutefois de grandes disparités selon les mois. Ce pourcentage est effectivement légèrement supérieur à celui mesuré dans B1 (3 %). Ces taux restent inclus dans les incertitudes de mesures des débitmètres ($\pm 10\%$) et **il n'est pas possible à ce stade de comparer les pertes des deux bassins entre eux.**

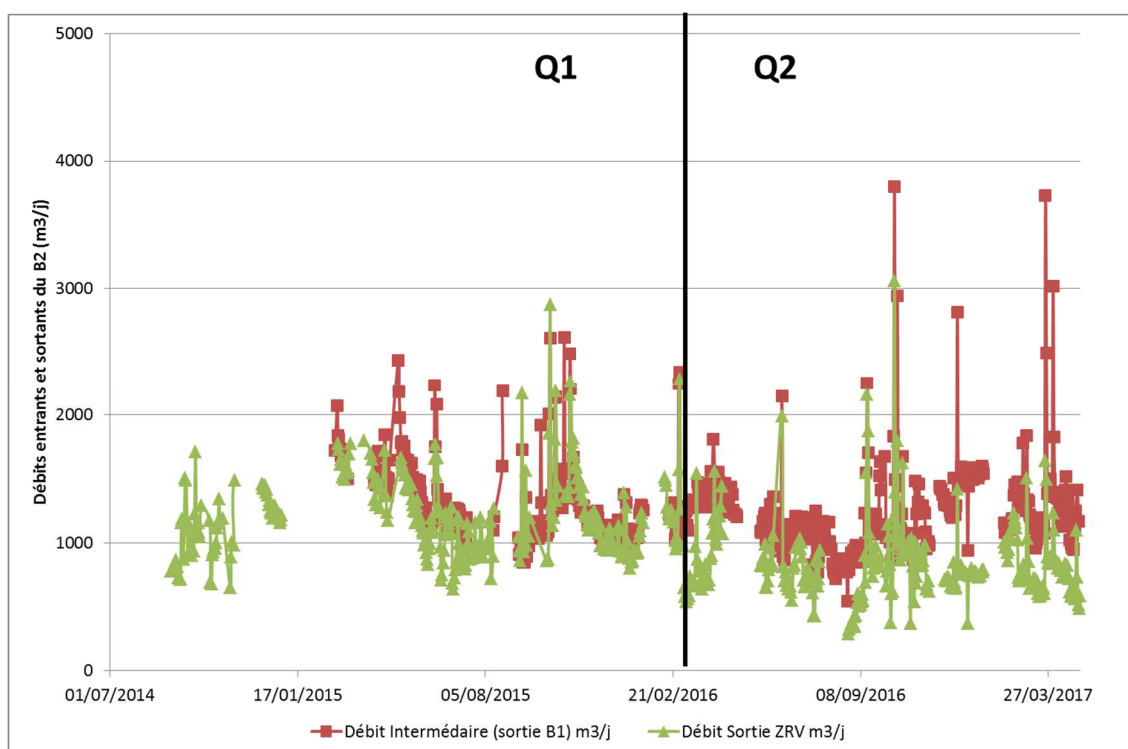


Figure 5 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie du B2 en m3/j de juillet 2014 à avril 2017

La Figure 5 montre l'évolution dans le temps des débits sortants du B1 et sortants du B2. Lors de la période d'étude à Q1, les débits sortants sont majoritairement inférieurs aux débits entrants mais ces différences sont généralement incluses dans la zone d'incertitudes des valeurs des débits mesurés ($\pm 10\%$). A débit Q2, le débit intermédiaire est bien celui qui sort du B1, différent du débit entrant dans B2 du fait du bypass volontaire d'une partie du débit.

En revanche, certains jours ou lendemains de fortes pluies, les débits entrants et sortants semblent très proches, suite à l'obstruction de la vanne envers le bypass par de nombreux débris végétaux transportés par la pluie (et les écoulements plus rapides).

2.2 Suivi météorologique

Le suivi de la pluviométrie et de l'évaporation permet d'appréhender les débits excédentaires ou manquants à considérer dans le bilan ; ils constituent une source d'explications des différences de débits

observés entre l'entrée et la sortie de chaque bassin. La pluviométrie peut notamment avoir un impact à la fois par le volume d'eau précipité sur la ZRV elle-même mais également par le débit supplémentaire que reçoit la station d'épuration.

2.2.1 Pluviométrie

Sur la période d'étude, divers problèmes ont grandement perturbé la mesure de la pluviométrie. En effet, sur 2014, le pluviomètre fonctionnait mais l'acquisition de la centrale s'est déconnectée. Par la suite, l'aimant intégré dans le mécanisme du pluviomètre s'est démagnétisé et ne pouvait donc plus effectuer de mesures. Après réparation, le pluviomètre semblait fonctionner mais en comparant avec l'auto-surveillance, il s'est avéré que lors d'épisodes pluvieux très intenses, l'acquisition n'était pas assez rapide et il n'enregistrait pas la totalité de la pluie. En revanche, lors de pluies modérées, les valeurs étaient similaires. Il a donc été décidé de prendre les valeurs de l'auto-surveillance pour la pluviométrie. Ces valeurs (de pluviométrie) sont confortées par une hausse enregistrée de la hauteur d'eau dans l'évaporomètre. Effectivement, ce dernier, bien que destiné à la mesure d'évaporation, enregistre aussi les élévations du niveau d'eau lorsqu'il pleut et peut donc fournir une évaluation de la pluviométrie, sous réserve qu'il ne déborde pas.

Les événements pluvieux ont parfois été de très fortes intensités comme le montre la Figure 6 avec des pluviométries journalières atteignant parfois plus de 70 mm.

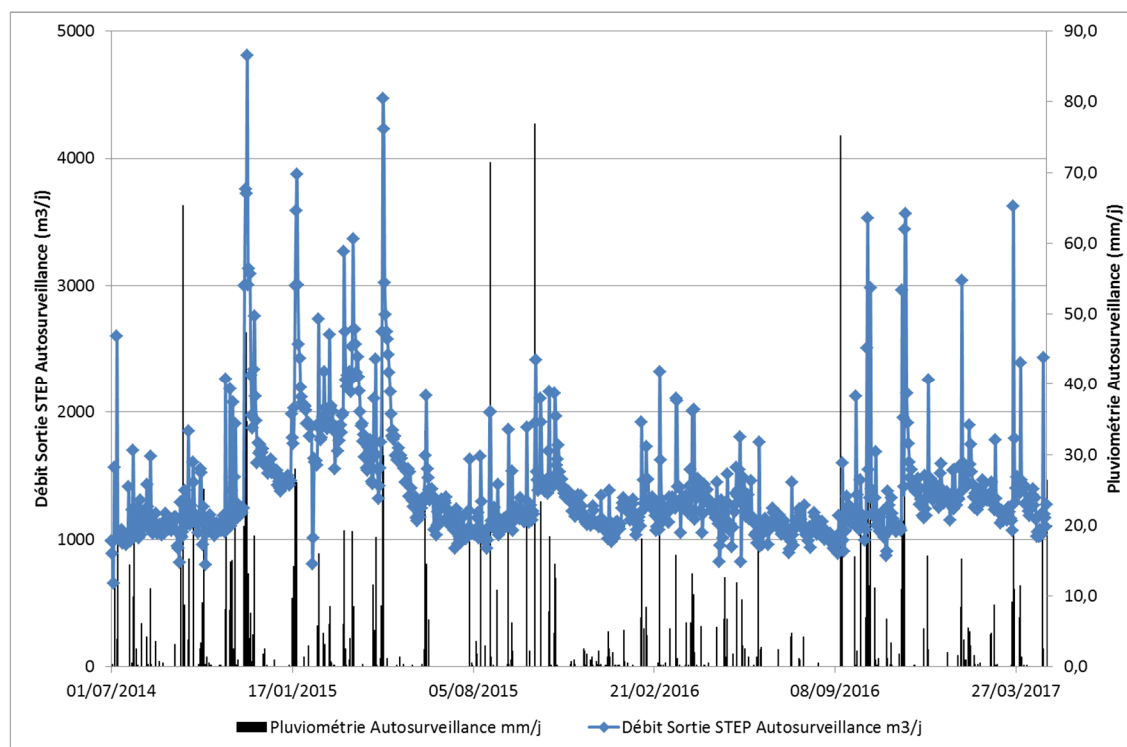


Figure 6 : Influence de la pluviométrie sur le débit d'entrée de la ZRV

Il est intéressant de constater que les épisodes pluvieux les plus intenses ne sont pas ceux qui provoquent l'augmentation de débit la plus importante. En revanche, lorsqu'il pleut plusieurs jours consécutifs, les débits augmentent fortement. Un exemple très marqué de ce phénomène est visible sur la période du 24 au 27 novembre 2014 où les précipitations cumulées sur 4 jours atteignent 130 mm. Le débit atteint alors 4800 m³ le 28 novembre.

Pour la surface de plan d'eau totale de 1,075 ha, une pluie journalière de 25 mm recueillie par cette surface contribue à un apport de plus de 250 m³/j, soit de l'ordre de 20 % du débit nominal fixé avant 2015, cet apport n'est donc pas toujours négligeable.

Tableau 10 : Pluviométrie et débits supplémentaires journaliers induits

		Pluviométrie (source : autosurveillance)			Débit supplémentaire journalier en cas de pluie	
		Cumulée mensuelle (mm)	Nbre de jours de pluie	Maxi (mm/j)	Calculé (m ³ /j)	Maxi (m ³ /j)
2014	Juillet	107,0	10	38,2	37	410
	Août	27,2	8	11,1	9	120
	Septembre	140,8	8	65,3	50	700
	Octobre	45,6	15	25,1	16	270
	Novembre	247,4	18	47,4	89	510
	Décembre	37,1	8	18,5	13	200
2015	Janvier	90,4	7	28,0	30	300
	Février	50,3	9	16,0	20	170
	Mars	61,7	11	19,3	20	207
	Avril	120,4	9	45,0	43	484
	Mai	3,4	5	1,4	1	15
	Juin	68,1	6	33,3	24	358
	Juillet	17,7	1	17,7	6	190
	Août	114,6	10	71,4	40	768
	Septembre	36,1	6	25,9	13	278
	Octobre	151,8	7	76,9	53	827
	Novembre	34,6	8	14,5	12	156
	Décembre	15,4	8	2,6	5	28
2016	Janvier	18,6	7	5,2	6	56
	Février	82	8	37,3	30	400
	Mars	30,0	5	15,8	10	170
	Avril	45,9	8	13,2	16	142
	Mai	56,4	9	12,6	20	135
	Juin	39,5	5	31,3	14	336
	Juillet	13,6	5	4,8	5	52
	Août	4,8	2	4,2	2	45
	Septembre	120,5	4	75,2	43	808
	Octobre	168,4	10	46,1	58	496
	Novembre	107,8	10	28,7	39	309
	Décembre	23,9	3	15,7	8	169
2017	Janvier	33,1	7	15,3	11	164
	Février	27,5	10	5,5	10	59
	Mars	77,0	6	40,0	27	430
	Avril	67,9	5	26,4	24	284

Le Tableau 10 mentionne ces débits supplémentaires, à l'échelle du mois, calculés simplement en multipliant la pluviométrie journalière par la surface totale des bassins de la ZRV.

Les valeurs extrêmes journalières relevées à l'automne 2015 et 2016, correspondant à une pluie journalière d'environ 75-77 mm, atteignent un peu plus de 800 m³ supplémentaires, soit légèrement plus de 25 % du débit nominal prévu en temps de pluie en 2015 (3050 m³/j).

Ces apports seront intégrés dans le bilan hydrique global.

2.2.2 Evaporation et évapotranspiration

L'**évapotranspiration** est un terme englobant deux phénomènes simultanés permettant le transfert d'eau du sol vers l'atmosphère : l'**évaporation et la transpiration des végétaux**. L'évaporation stricte ne concerne que les surfaces d'eau libre tandis que l'évapotranspiration s'applique aux surfaces plantées. Pour celles-ci, l'évaporation de l'eau dans laquelle sont les roseaux est donc incluse dans l'évapotranspiration. Dans les paragraphes suivants, l'évaporation stricte est mesurée par Irstea tandis que l'évapotranspiration est estimée par calculs à partir de données bibliographiques.

- Evaporation

L'**évaporation** (EVPO) est définie comme le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux sous forme de vapeur d'eau. Elle dépend des conditions climatiques (ensoleillement, température, humidité de l'air et vitesse du vent).

L'évaporation journalière est déterminée grâce à l'évaporomètre installé sur site. Le matériel enregistre à la fois, l'évaporation lorsqu'il y a une diminution de hauteur et la pluviométrie lorsqu'il y a un accroissement de hauteur. Ces mesures peuvent être faussées, soit par le débordement du bac à cause de la pluie, soit par manque d'eau en été. Ces valeurs fausses ont été identifiées et supprimées manuellement. Il en est de même pour les retraits ou ajouts d'eau volontaires effectués lors de passages sur site.

Tableau 11 : Evaporation et perte en eau associée

		Nbre de j avec des données existantes / nbre de j du mois	EVPO stricte moyenne (mm/j)	Nombre de jours avec EVPO stricte (j)	Perte par évaporation moyenne (m ³ /j)	Température moyenne de l'air (°C)
2014	Juillet	31/31	5	21	30	22,3
	Août	30/31 mais valeurs très basses	4,4	19	25	22,3
	Septembre	29/30	4,7	19	24	20,5
	Octobre	30/31	2,4	11	10	17,5
	Novembre	27/30	1,8	5	4	12,6
	Décembre	25/31	2,7	11	10	7,9
2015	Janvier	31/31	2,4	12	7	7,2
	Février	25/28	2,6	11	9	6,0
	Mars	27/31	2,8	18	15	11,1
	Avril	30/30	3,5	21	21	13,7
	Mai	30/31	4,7	25	34	18,4
	Juin	28/30	7,4	22	48	23,0
	Juillet	29/31	7,4	28	54	26,1
	Août	28/31 mais hauteurs d'eau très basses	5,0	19	34	23,1
	Septembre	30/30	3	22	18	18,8
	Octobre	26/31	2,1	15	9	13,8
	Novembre	30/30	2,4	10	8	11,7
	Décembre	31/31	1,4	5	2	10,7
2016	Janvier	31/31	1,8	9	6	8,0
	Février	29/29	2,6	15	11	8,8
	Mars	31/31	2,6	19	13	9,7
	Avril	29/30	3,1	18	16	13,2
	Mai	8/31	3,4	-	20	17,6
	Juin	30/30	5,2	21	32	21,7

	Juillet	30/31	6,0	25	42	24,5
	Août	30/31	4,6	28	33	23,6
	Septembre	29/30	4,4	25	29	21,4
	Octobre	27/31	2,1	14	9	14,3
	Novembre	30/30	1,9	15	9	10,5
	Décembre	31/31	1,4	14	5	7,6
2017	Janvier	31/31	2,2	13	8	4,6
	Février	27/28	2,3	15	10	10,3
	Mars	31/31	2,1	18	13	12,4
	Avril	30/30	3,0	23	19	13,8

L'évaporation moyenne a été calculée en ne tenant compte que des jours présentant une évaporation stricte dont le nombre de jours est mentionné dans le Tableau 11.

Les jours de pluie, même si l'évaporomètre présentait une diminution de la hauteur d'eau ne sont donc pas inclus dans le calcul. Les autres jours présentent donc, soit une évaporation nulle, soit de la pluie ou encore un ajout ou enlèvement volontaire d'eau réalisés pour le bon fonctionnement de l'évaporomètre.

De manière plus visuelle, la Figure 7 montre l'évolution de la hauteur d'eau (en m) dans l'évaporomètre ainsi que l'évaporation (en mm) correspondante. La pluviométrie issue de l'auto surveillance a été ajoutée à titre indicatif et correspond effectivement aux augmentations de hauteur d'eau dans l'évaporomètre.

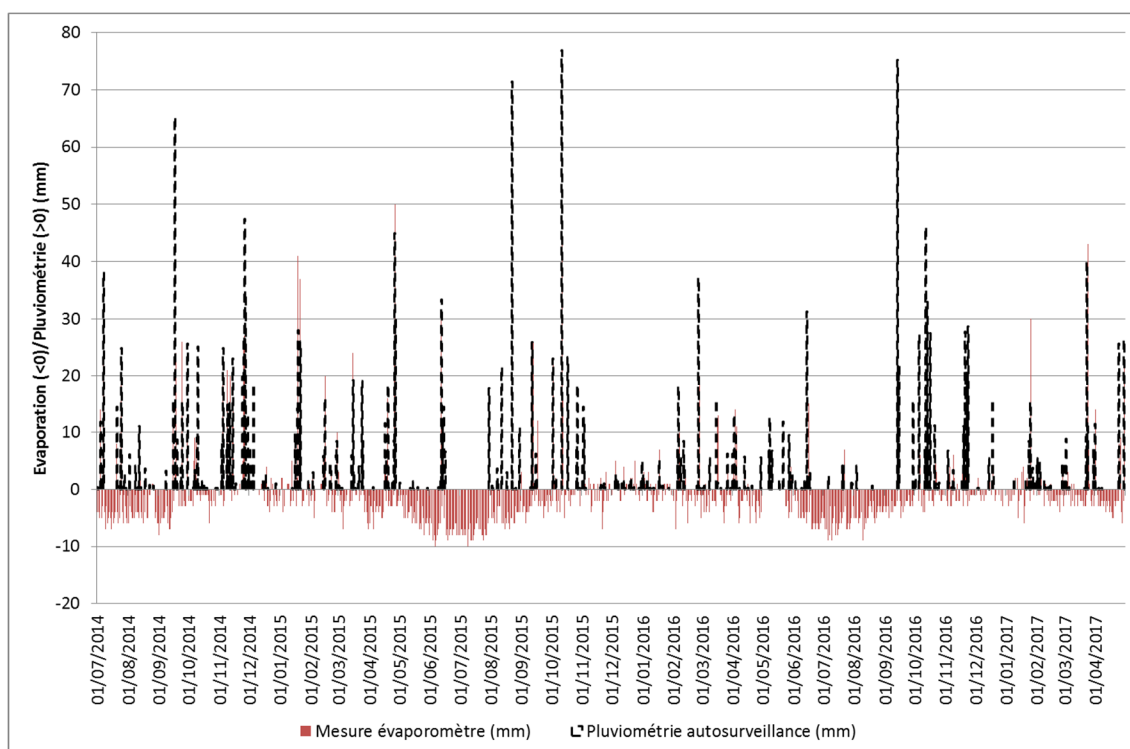
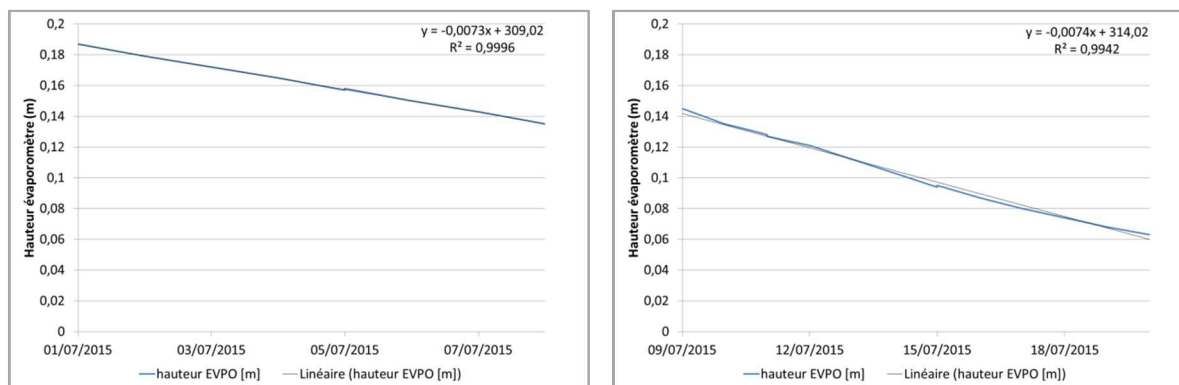


Figure 7 : Pluviométrie et évaporation journalière

En fonction des conditions climatiques, l'intensité de l'évaporation varie. **En période hivernale, l'évaporation est faible mais n'est pas nulle. La période estivale est particulièrement visible mais varie en intensité et en durée d'une année sur l'autre.**

La courbe présentant l'évolution de la hauteur d'eau dans l'évaporomètre en fonction du temps peut permettre de déterminer l'évaporation journalière sur une période donnée. Les Figures 8 montrent par

exemple, la diminution de la hauteur d'eau dans l'évaporomètre au mois de juillet 2015 (du 1^{er} au 20), mois le plus chaud de la période d'étude.



Figures 8 : Diminution de la hauteur d'eau dans l'évaporomètre au mois de juillet 2015

Un ajout d'eau a été effectué le 8 juillet, la période est donc divisée en deux parties. Dans les deux cas, les régressions sont excellentes. Les coefficients directeurs des 2 droites de régression correspondent à l'évaporation journalière : 0,0073 m et 0,0074 par jour, **soit 7,35 mm/j, valeur obtenue en moyenne sur l'ensemble du mois de juillet.**

L'exercice s'avère plus compliqué sur les périodes froides car la fréquence des événements pluvieux ne permet pas d'obtenir fréquemment plusieurs données journalières d'évaporation stricte consécutive.

La correspondance établie sur la période estivale permet de valider les données mensuelles moyennées. Il en découle 3 périodes :

- **une saison estivale couvrant juin, juillet et aout** où l'évaporation moyenne est la plus forte. La valeur moyenne maximale obtenue est lors de l'été 2015 avec 7,4 mm/j. En 2014, sur la même période, l'évaporation était bien plus faible et n'atteignait que 5,0 mm/j. L'été 2016 présente une valeur intermédiaire de 5,3 mm/j en moyenne.
- **une saison intermédiaire : printemps, automne** où l'évaporation varie autour de 2,8 à 4,7mm/j
- **une saison hivernale couvrant octobre à mars** où l'évaporation moyenne est la plus faible. Les hivers 2014-2015, 2015-2016 et 2016-2017 sont assez semblables avec des variations comprises entre 1,4 et 2,8 mm/j.

- Evapotranspiration

L'évaporation est présentée ci-dessus. La transpiration des végétaux s'effectue par les feuilles qui permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère. Les mêmes paramètres climatiques que pour l'évaporation sont à prendre en compte (température, rayonnement, humidité, vent), en plus des caractéristiques du sol (taux d'humidité) et de la plante (nature, stade végétatif, saison...).

La transpiration des végétaux peut être importante selon les conditions dans lesquelles se trouvent les végétaux ainsi que leur stade de développement. De nombreuses formules permettent de calculer l'évapotranspiration mais la méthode FAO 56 est souvent utilisée (Vincent, 2011) :

$$ETR = K_c \times ET_0$$

Avec : ETR l'évapotranspiration réelle (mm/j), K_c le coefficient cultural propre à une espèce végétale et ET_0 l'évapotranspiration de référence (mm/j).

La FAO a édité un logiciel (ET_0 calculator) qui permet de faire cette estimation de l'évapotranspiration de référence à partir des données climatiques dont on dispose (température de l'air, humidité, ensoleillement). Ainsi, l'évapotranspiration moyenne a été calculée pour chaque période et est

présentée dans le Tableau 12. Celle-ci présente une valeur plus forte au printemps, les températures et l'ensoleillement étant plus importants. D'autre part, lors de la croissance des végétaux, le coefficient cultural est également plus important. Les valeurs annoncées par la FAO pour le roseau des marais en zones humides naturelles sont de 0,9, 1,2 et 0,7 pour la phase de développement, la phase médiane et la phase de sénescence respectivement. Pour ces valeurs, les conditions fixées sont : humidité minimale de 45 %, vitesse de vent de 2 m.s⁻¹ (environ 7 km/h) en moyenne avec des plantes non soumises à un stress hydrique. Dans les conditions de Marguerittes, les roseaux sont dans l'eau, l'humidité minimale est comprise entre 22 et 45 % (autour de 60-70 % en moyenne). Le vent n'est pas mesuré par Irstea mais les données de l'aéroport Nîmes-Garons donnent une moyenne annuelle de 9 nœuds soit environ 17 km/h. C'est un peu plus que les conditions exigées mais cela donnera une estimation de ce que peut représenter l'évapotranspiration sur un tel site.

Le Tableau 12 présente l'évapotranspiration de référence, le coefficient cultural et l'évapotranspiration calculée. Comme attendu, en hiver, l'évapotranspiration est quasiment égale à l'évaporation stricte de l'eau libre. Puis avec le développement des végétaux, la transpiration des végétaux devient plus conséquente : l'écart entre évapotranspiration et évaporation est au maximum en juillet et août (3,2 à 3,4 mm/j). La perte théorique par ETR est calculée en appliquant l'ETR (en m/j) à la surface plantée de la ZRV soit 3193 m².

Tableau 12 : Evapotranspiration et pertes associées (* valeurs fournies pour comparaison, déjà présentées au Tableau 11)

		ET ₀ (mm/j)	Kc (-)	ETR (formule FAO 56) (mm/j)	Perte théorique par ETR (m ³ /j)	*EVPO stricte moyenne (Irstea) (mm/j)
2014	Juillet	7	1,2	8,4	27	5
	Août	6,3	1,2	7,6	24	4,4
	Septembre	5	0,7	3,5	11	4,7
	Octobre	3,3	0,7	2,3	7	2,4
	Novembre	1,7	0,7	1,2	4	1,8
	Décembre	1,7	0,7	1,2	4	2,7
2015	Janvier	2,1	0,7	1,5	5	2,4
	Février	2	0,7	1,4	4	2,6
	Mars	3,5	0,9	3,5	11	2,8
	Avril	5,5	0,9	5,0	16	3,5
	Mai	6,1	0,9	5,5	18	4,7
	Juin	7,3	1,2	8,8	28	7,4
	Juillet	7,4	1,2	8,9	28	7,4
	Août	6,8	1,2	8,2	26	5,0
	Septembre	4,3	0,7	3,0	10	3
	Octobre	2,8	0,7	2,0	6	2,1
	Novembre	2,3	0,7	1,6	5	2,4
	Décembre	1,3	0,7	0,9	3	1,4
2016	Janvier	1,8	0,7	1,3	4	1,8
	Février	2,6	0,7	1,8	6	2,6
	Mars	3,5	0,9	3,2	10	2,6
	Avril	4,5	0,9	4,1	13	3,1
	Mai	6,2	0,9	5,6	18	3,4
	Juin	7,2	1,2	8,6	27	5,2
	Juillet	7,4	1,2	8,9	28	6,0
	Août	6,8	1,2	8,2	26	4,6
	Septembre	5,6	0,7	3,9	12	4,4
	Octobre	3,0	0,7	2,1	7	2,1
	Novembre	2,1	0,7	1,5	5	1,9
	Décembre	1,6	0,7	1,1	4	1,4

2017	Janvier	1,7	0,7	1,2	4	2,2
	Février	2,4	0,7	1,7	5	2,3
	Mars	3,8	0,9	3,4	11	2,1
	Avril	5,1	0,9	4,6	15	3,0

Les différents calculs réalisés conduisent à retenir 3 périodes pour l'évapotranspiration similaires à celles de l'évaporation seule :

- **une saison estivale couvrant juin, juillet et aout** où l'évapotranspiration moyenne est la plus forte (8,2 à 8,9 mm/j) ;
- **une saison intermédiaire : printemps, automne** où l'évapotranspiration varie autour de 3 à 5,6 mm/j ;
- **une saison hivernale couvrant octobre à mars** où l'évapotranspiration moyenne est la plus faible avec des valeurs égales à l'évaporation seule (pas de transpiration des végétaux). Les hivers 2014-2015, 2015-2016 et 2016-2017 sont assez semblables avec des variations allant de 1,3 à 2,6 mm/j.

2.3 Stockage dans B1

La hauteur d'eau du bassin 1 varie au cours de la journée ; il a un rôle de « réservoir » qui tamponne les débits entrants en établissant un marnage. Ce marnage dépend du débit sortant du bassin 1, contrôlé par une vanne à ouverture variable selon la hauteur de flottaison d'un flotteur. Les données techniques de cette vanne mentionnent limiter le débit sortant à un maximum de 160 m³/h.

Le changement de débit dans le B2 en mars 2016 n'a pas impacté ce rôle du B1.

Tableau 13 : Hauteur en mm/j de stockage ou déstockage d'eau et débits associés (en m³/j)

		Nb val	Δ hauteur B1 (mm/j)			Débit stocké ou déstocké (m ³ /j)		
			Moyenne	Mini	Maxi	Moyenne	Mini	Maxi
2014	Juillet	31/31	- 1	- 30	19	-2	-110	70
	Août	31/31	0	- 16	15	0	-59	55
	Septembre	30/30	0	- 30	30	-1	-110	110
	Octobre	31/31	0	- 29	35	0	-107	129
	Novembre	30/30	1	- 30	38	5	-110	140
	Décembre	31/31	0	- 10	5	-1	-37	18
2015	Janvier	31/31	2	- 35	48	7	-129	177
	Février	25/28	-2	- 78	20	-7	-287	74
	Mars	29/31	-1	- 22	24	-3	-81	88
	Avril	30/30	2	- 35	58	6	-129	213
	Mai	31/31	-2	- 10	7	-7	-37	26
	Juin	30/30	0	- 42	47	1	-155	173
	Juillet	13/31	-1	- 7	4	-5	-26	15
	Août	0/31	-	-	-	-	-	-
	Septembre	21/30	0	- 7	10	1	-26	37
	Octobre	31/31	0	- 29	35	1	-107	129
	Novembre	29/30	0	- 7	9	1	-26	33
	Décembre	31/31	0	- 10	11	2	-37	41
2016	Janvier	20/31	1	-4	7	2	-15	26
	Février	19/29	0	-63	68	0	-233	252
	Mars	31/31	1	-32	38	3	-118	140

	Avril	30/30	1	-35	40	4	-129	147
	Mai	8/31	0	-1	3	1	-4	11
	Juin	24/30	-1	-12	12	-2	-44	44
	Juillet	0/31	-	-	-	-	-	-
	Août	0/31	-	-	-	-	-	-
	Septembre	0/30	-	-	-	-	-	-
	Octobre	0/31	-	-	-	-	-	-
	Novembre	0/630	-	-	-	-	-	-
	Décembre	0/31	-	-	-	-	-	-
2017	Janvier	13/31	2	-74	86	7	-272	317
	Février	28/28	3	-11	36	9	-40	133
	Mars	31/31	0	-73	89	1	-269	328
	Avril	25/30	5	-56	95	17	-206	350

Le stockage (ou déstockage) éventuel dans le B1 est calculé à l'aide d'une sonde pression qui permet de mesurer la différence de hauteur d'eau dans le B1 qui, ramenée à la surface du bassin, donne le volume d'eau stocké ou déstocké à la journée (Tableau 13).

Certaines périodes (juillet-août 2015 et juillet-décembre 2016) ont été marquées par des dysfonctionnements de la sonde pression ou de l'acquisition (câble sectionné).

Les valeurs du 19 janvier au 10 février 2016 n'ont pas été prises en compte car elles intégraient la vidange du bassin 1 en raison des travaux et faussaient donc les valeurs avec une importante quantité d'eau déstockée en janvier puis stockée en février lors du remplissage du bassin en fin d'opération.

Les variations de hauteur d'eau dans B1 sont relativement modestes. Lors de toute la période de mesures, on enregistre un stockage maximum d'un peu moins de 10 cm/j ou un déstockage maximum d'à peine 8 cm/j. Les valeurs de début 2017 sont plus fortes que les valeurs précédemment enregistrées. Elles sont probablement surévaluées suite à la réinstallation du matériel qui s'était montré défectueux les mois précédents.

Dans le CCTP de création de la ZRV de Marguerittes (Entech, février 2012), il est stipulé une « hauteur de marnage disponible » de 20 cm dans le B1. Ce marnage est actuellement nettement plus faible que les 20 cm attendus du fait des débits traités par la station encore modérés, et souvent inférieurs à 160 m³/h.

Les valeurs moyennées mensuelles sont également faibles et restent à l'échelle du mm quelle que soit la saison. Le bassin B1 n'a pas de rôle tampon spécifique marqué (stockage /déstockage) pour de longues périodes.

Les variations de hauteurs mensuelles extrêmes (stockage ou déstockage) sont le plus souvent du même ordre de grandeur en valeur absolue. Effectivement, on constate qu'une journée de stockage est souvent suivie d'une journée de déstockage du volume équivalent. Par exemple, lors de la journée pluvieuse du 29 septembre 2014, on constate une élévation de 30 mm (pluviométrie = 25,6 mm), puis le lendemain, sans épisode pluvieux supplémentaire une diminution de 30 mm. L'eau supplémentaire stockée pendant l'épisode pluvieux est évacuée le lendemain et le bassin revient à son équilibre. Ce retour à l'équilibre est plus ou moins rapide selon l'intensité et la durée de la pluie.

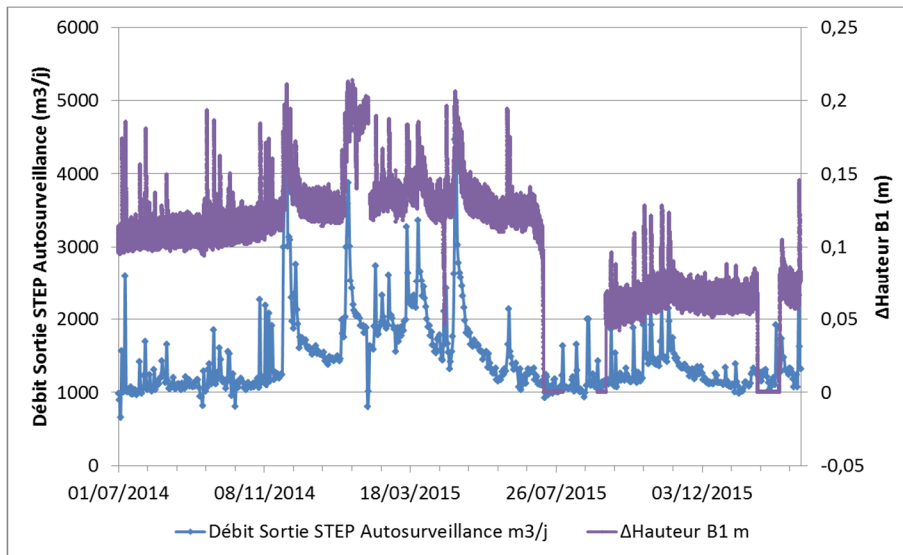
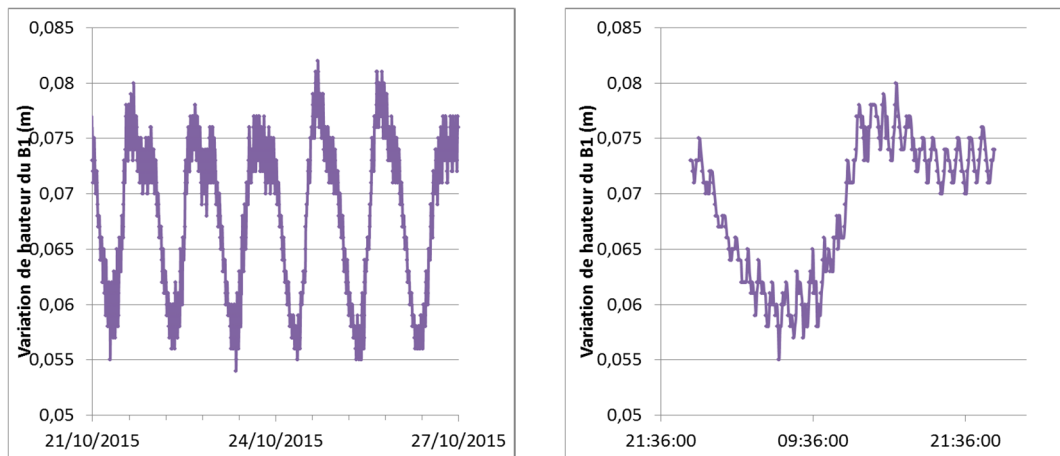


Figure 9 : Marnage du B1 et débit journalier en entrée de ZRV

La Figure 9 permet de visualiser l'impact des débits élevés arrivant sur la ZRV sur la variation de hauteur d'eau dans le B1. Il est important de préciser que sur ce graphe, la chute de la variation de hauteur en juillet correspond à un dysfonctionnement de la sonde pression. Une nouvelle sonde a ensuite été réinstallée à une hauteur différente en septembre, ce qui explique la différence relative observée.



Figures 10 : Marnage du B1 sur une semaine (à gauche) et sur une journée (à droite)

Par temps sec, les hauteurs d'eau mesurées de juillet 2014 à octobre 2015 varient de ± 1 cm à l'échelle de la journée (Figures 10). L'amplitude journalière du marnage n'excède pas 2 cm, reproductible d'une journée à l'autre, avec un léger stockage lors des apports maximums diurnes suivis d'un déstockage équivalent en période nocturne.

Le stockage doit donc être pris en compte dans le bilan lors d'épisodes pluvieux. En revanche, par temps sec, ce marnage est considéré comme quasi nul (< 2 cm) à l'échelle de la journée.

2.4 Bilan hydrique

Pour rappel, le bassin B1 est étanché sur les berges tandis que le fond du B2 est partiellement étanché. Dans le cas d'un bassin non étanche, ce calcul correspondrait aux pertes par infiltration.

Le bilan hydrique (I) est déduit des valeurs de débits entrants Q_e et sortants Q_s , et des valeurs (appliquées aux surfaces correspondantes) de pluviométrie P , évaporation $EVPO$, évapotranspiration ETR et stockage $S1$:

$$I = Q_e + P - Q_s - EVPO - ETR - S1$$

Comme précisé ci-dessus, l'évapotranspiration est calculée à partir des données également calculées pour des conditions climatiques à peu près équivalentes.

Les données de débits sont disponibles sur la période juillet 2014 – février 2016 de façon assez hétérogène comme le montre la Figure 11. Un premier constat met en évidence la grande similitude des débits d'entrée, intermédiaire et de sortie avec certains déséquilibres les jours de forts débits correspondant à des événements pluvieux.

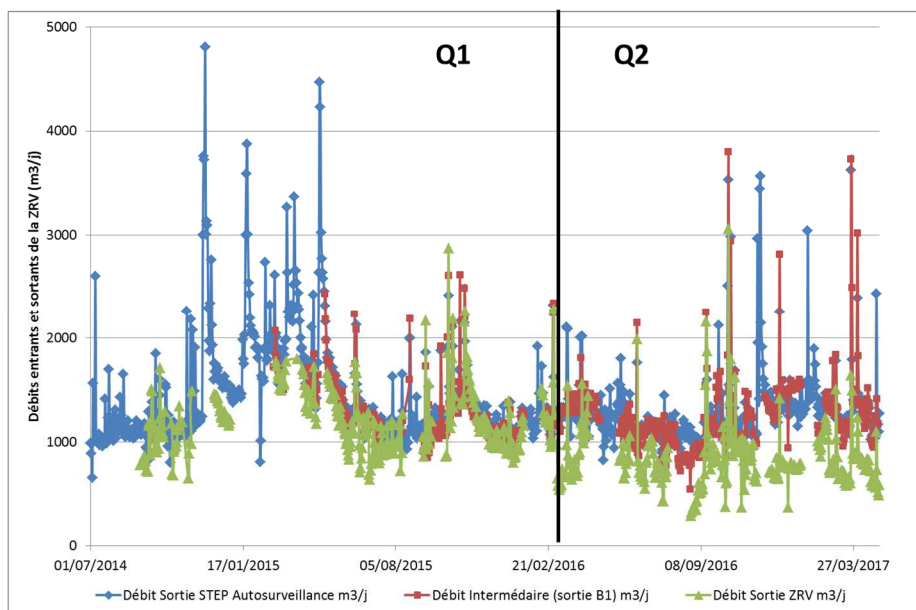


Figure 11 : Evolution des débits journaliers en entrée, intermédiaire et sortie de ZRV du 1^{er} juillet 2014 au 30 avril 2017 avec changement de débit dans le B2 au 3 mars 2016

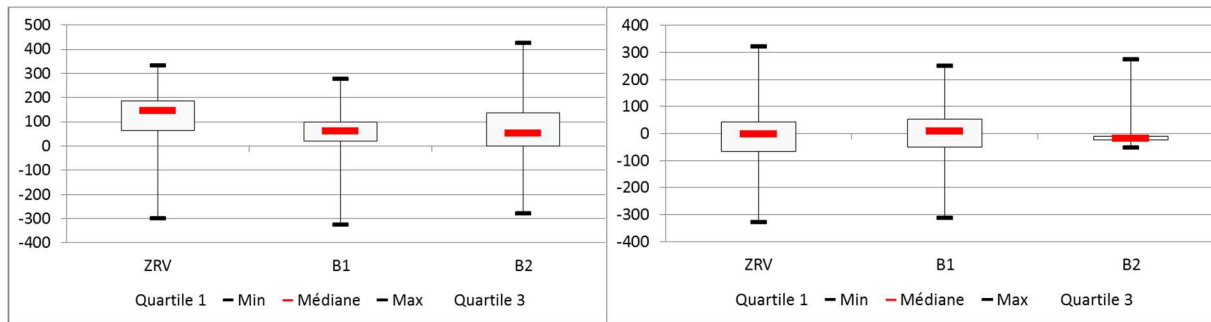
Les valeurs associées aux données de pluviométrie, d'évaporation et de stockage étant mesurées, elles vont permettre d'affiner les explications de ces écarts. Il en est de même pour les données d'évapotranspiration issues de la littérature, l'infiltration restant la seule inconnue. Les valeurs ainsi calculées sont présentées sur les Figures 12 et détaillées dans le Tableau 14.

NOTA : les sommes sont calculées pour chaque jour, puis moyennées.

$$I = Q_e - Q_s + P - EVPO - ETR - S1$$

Afin de mener une analyse fine, il est nécessaire de se concentrer sur les jours où les 3 débits d'entrée, intermédiaire et de sortie sont disponibles. Il a également été choisi de ne pas considérer les jours où la pluviométrie était supérieure à 20 mm pour calculer ces bilans en fonctionnement stabilisé en absence de stockage et déstockage des épisodes pluvieux dans le B1.

Ce bilan des intrants et sortants contribue à identifier les volumes journaliers non expliqués par les mesures ou estimations.



Figures 12 : Comparaison des bilans hydriques sur la ZRV, le B1 et le B2, à débit Q1, à gauche (n = 183) et à débit Q2, à droite (n = 128)

Tableau 14 : Pertes en eau sur la ZRV

	A débit Q1 (n=183)			A débit Q2 (n=128)		
	Pertes ZRV (m ³ /j)	Pertes B1 (m ³ /j)	Pertes B2 (m ³ /j)	Pertes ZRV (m ³ /j)	Pertes B1 (m ³ /j)	Pertes B2* (m ³ /j)
Moyenne	119	61	58	5	6	-9
Min	-300	-325	-279	-328	-314	-55
Max	331	276	425	321	249	272
Médiane	136	61	53	-2	7	-18
Ecart-type	112	78	138	96	91	41

A débit Q1, en comparant les 183 volumes journaliers, il ressort en moyenne une perte journalière de 119 m³ (débits moyens journaliers en entrée de 1489 m³ et en sortie de 1259 m³). **Cela représente environ 8 % du débit d'entrée qui n'est pas évacué par la sortie de la ZRV. Ces 8 % sont également répartis entre le B1 et le B2, 4 % sont attribués au B1 avec une perte moyenne de 61 m³ et 4 % attribués au B2 avec une perte moyenne de 58 m³.** A ce stade, il est important de rappeler que les incertitudes intrinsèques à la mesure des débits d'entrée et de sortie de la ZRV sont estimées à $\pm 10\%$. **Les valeurs mesurées sont donc incluses dans ces incertitudes.** En effet, les hypothèses d'une surestimation des débits d'entrée de 10 % et d'une sous-estimation des débits de sortie 10 % expliqueraient à elles seules un écart de 275 m³/j.

A débit Q2, les pertes mesurées sur le B1 apparaissent bien plus faibles qu'à débit Q1 pour un écart-type légèrement supérieur. Cela tend à montrer que ces écarts sont bien dans les incertitudes de mesures. Le débit transitant dans le B2 est considéré comme étant le débit mesuré en sortie de ce bassin en raison des problèmes sur le débitmètre du bypass. Sur le B2, il n'y a donc pas de pertes calculées comme à débit Q1 et les pertes du B2 présentées dans le Tableau 14 correspondent donc uniquement aux variations dues à la pluviométrie et à l'évaporation. Cela impacte nécessairement les pertes estimées sur l'ensemble de la ZRV.

Les minimum, maximum et écart-type laissent supposer une très grande variabilité de la mesure. En réalité, ces valeurs reflètent l'effet du marnage du B1 qui stocke les jours de pluie et déstocke progressivement jusqu'au lendemain. Le marnage maximum observé est d'une dizaine de cm ce qui correspond à 370 m³ soit une valeur relativement proche des minimums et maximums observés. Lors des pluies bien plus importantes mais aussi plus rares (> 20 mm), ce marnage est bien plus important allant jusqu'au niveau d'eau mettant en fonctionnement le bypass du B1. Il a été choisi de ne pas présenter ces valeurs afin de représenter un fonctionnement stabilisé. En effet, les jours de très fortes pluies, le limiteur de débit situé en sortie du B1 s'est parfois bloqué, modifiant alors le comportement hydraulique des bassins.

Malgré ces valeurs très cohérentes comparativement aux incertitudes, on peut faire l'exercice de calculer une estimation de l'infiltration en faisant l'hypothèse que ces pertes sont effectivement dues à l'infiltration, malgré l'étanchéification artificielle et naturelle réalisée.

Pour rappel, la surface totale non étanchée de la ZRV est de 7415 m² (Tableau 2), celle du B1 étant de 3680 m² (seules les berges sont étanchées), la surface dans le B2 où l'infiltration est possible est de 3735 m². Ces deux surfaces sont donc équivalentes.

Dans le cas où les pertes déduites de chaque bassin sont des pertes effectives par infiltration, cela conduit à évaluer cette dernière à 16 mm/j soit 0,70 mm/h (environ 60 m³/j sur environ 3700 m²). Cette valeur est tout à fait cohérente avec la situation d'un sol naturellement étanche.

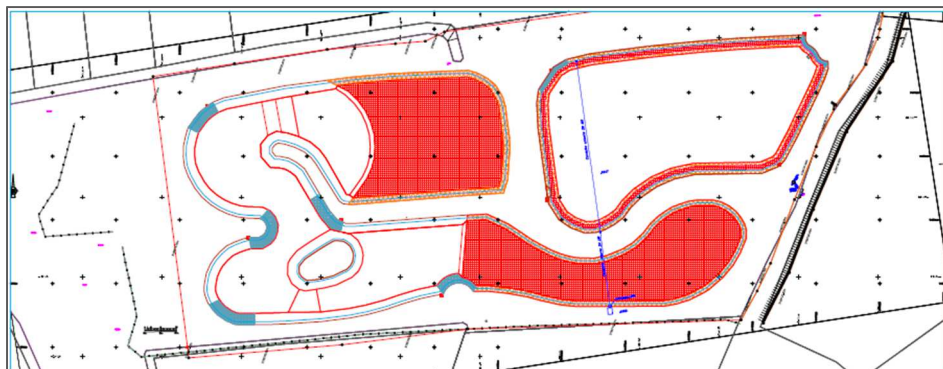


Figure 13 : Surfaces étanchées (en rouge) sur la ZRV

A titre d'information et pour appuyer l'hypothèse de l'étanchéité du B1, il est utile de rappeler que ce dernier a été vidé en raison de travaux pour la construction d'une rampe d'accès du 20 janvier au 10 février 2016. Lors du passage d'Irstea le 2 février 2016, la partie du B1 côté bypass était quasiment vide, l'eau ayant pu s'écouler avec le bypass. En revanche, l'eau bloquée par la digue ne s'est pas infiltrée comme on l'aperçoit sur la Photo 1.



Photo 1 : Bassin B1 lors de sa vidange pour travaux (au premier plan, la zone située proche du bypass dont la vidange est plus simple. Derrière la digue, l'eau est restée bloquée et ne s'est pas infiltrée).

Le recueil de données a permis d'élaborer un bilan hydrique relativement fin expliquant plus de 90 % de l'évolution de l'eau dans la ZRV (que la mise en œuvre a rendu quasiment étanche à l'aide d'une géomembrane ou d'une argile naturelle).

Les écarts entre débit entrant et débit sortant sont modestes (valeurs de chaque bassin analysées individuellement) et s'expliquent par :

- une efficacité modérée du marnage dans le B1 (la variation de hauteur maximale constatée est de ± 8 cm contre 20 cm en théorie) ;
- une évaporation mesurée identifiée, variable selon les saisons, mais dont le maximum en été ne dépasse pas 7,5 mm/j ;
- une évapotranspiration calculée identifiée (incluant l'évaporation), variable selon les saisons, mais dont le maximum en été ne dépasse pas 9 mm/j.

2.5 Analyse du fonctionnement hydraulique

2.5.1 Traçages

Le temps de séjour hydraulique de la ZRV de Marguerittes (ou d'un bassin seul) peut être estimé de manière théorique grâce au débit entrant (Q_{in}) et au volume du compartiment étudié (V_{ZRV}) :

$$T_{\text{théo}} (\text{jours}) = V_{ZRV} (m^3) / Q_{in} (m^3/\text{jour})$$

Toutefois, la réalité du terrain est souvent très différente et le temps de séjour réel ($T_{\text{réel}}$) peut se révéler très inférieur au $T_{\text{théorique}}$, notamment du fait de la présence de volumes morts (non utilisés) et de court-circuit hydrauliques (passages préférentiels). La détermination du $T_{\text{réel}}$ passe donc par la réalisation d'un traçage *in-situ*.

Ainsi, le traçage d'une ZRV a pour but de déterminer :

- le **temps de réponse** ($T_{\text{réponse}}$) : délai de détection du traceur en sortie de la zone étudiée ;
- le **temps de séjour réel** ($T_{\text{réel}}$) ;
- les **volumes morts** (V_{morts}), et donc de confirmer ou non l'existence de passages préférentiels.

Il s'agit d'un **traçage pulsé périodique**, c'est-à-dire l'envoi d'une bâchée traçante en amont de la zone étudiée. Le signal du traceur (concentration en fluorescéine) est détecté et enregistré en continu via un appareil spécifique (fluorimètre) positionné en sortie de la zone. Les débits d'entrée et de sortie de la zone étudiée sont également mesurés et enregistrés en continu, sur un même pas de temps d'enregistrement. Ainsi, la masse totale de fluorescéine récupérée est calculée puis comparée à la masse injectée en amont de la zone : le traçage est validé pour un taux de récupération de fluorescéine généralement supérieur à 80 %.

Les détails méthodologiques sont consultables dans la fiche « Protocole traçage à la fluorescéine sur ZRV » (Boutin *et al.*, 2014).

Les caractéristiques des traçages mis en place sur la ZRV de Marguerittes ainsi que leurs principaux résultats et interprétations sont détaillés dans les

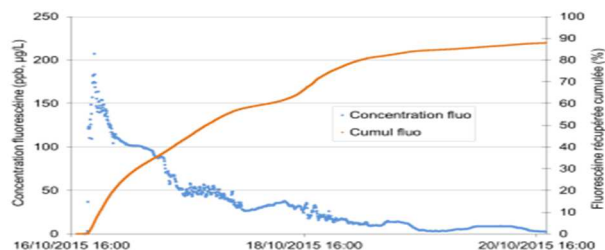
Tableau 15,

Tableau 17.

Tableau 15 : Caractéristiques du traçage du bassin 1 effectué en octobre 2015

Bassin 1	
Caractéristiques	
Lieu	B1 (3 500 m ³)
Date	Octobre 2015
Débit et météo	Q _{moyen} : 1 600 m ³ /j, temps sec puis pluie
Masse de traceur injectée, lieu d'injection	250 g, préalablement diluée dans un volume d'eau du site, injectée en sortie de station.
Pas de temps d'enregistrement	5 min

Résultats graphiques



Résultats techniques

Fluo récupérée : 88 %
 T_{réponse} : 3 heures
 T_{sthéo} : 42 heures
T_{s_{réel}} calculé : 27 heures
 V_{morts} : 35 %

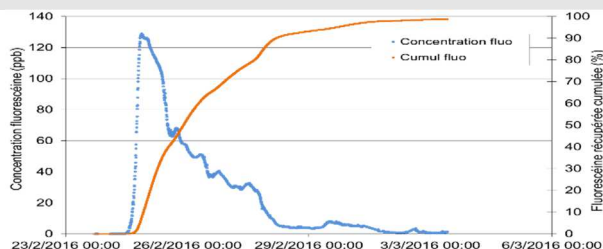
Commentaires

Le T_{s_{réel}} s'établit à 27 h ;
 L'estimation des volumes morts est de 35%.
 Les conditions hydrauliques s'approchent du fonctionnement classique de la ZRV (1 500 m³/j) avec malheureusement un épisode pluvieux au 2^{ème} jour qui entache certainement l'analyse et conduit à minimiser le T_{s_{réel}}.

Tableau 16 : Caractéristiques du traçage du bassin B2 effectué en février 2016

Bassin 2	
Caractéristiques	
Lieu	B2 (3 900 m ³)
Date	Février 2016
Débit et météo	Q _{moyen} : 1 300 m ³ /j, temps sec
Masse de traceur injectée, lieu d'injection	237 g, préalablement diluée dans un volume d'eau du site, injectée en sortie de station.
Pas de temps d'enregistrement	5 min

Résultats graphiques



Résultats techniques

Fluo récupérée : 92 %
 T_{réponse} : 20 heures
 T_{sthéo} : 72 heures
T_{réel} calculé : 53 heures
 V_{morts} : 27 %

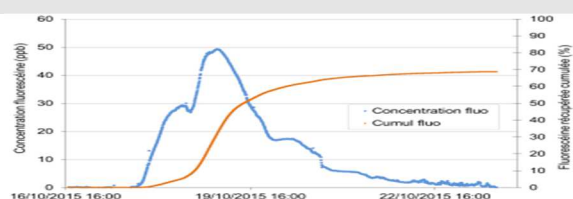
Commentaires

Le T_{réel} s'établit à 53 h, soit le double du temps de séjour du B1 malgré un volume de bassin quasiment identique, du fait de la configuration du bassin (morphologie plus méandreuse). Les volumes morts sont donc nettement plus faibles que dans le B1 : 27 % contre 35 %.
 Les conditions hydrauliques s'approchent du fonctionnement classique de la ZRV (1 500 m³/j).

Tableau 17 : Caractéristiques du traçage de l'ensemble de la ZRV (B1+ B2) effectué en octobre 2015

ZRV	
Caractéristiques	
Lieu	ZRV (7 500 m ³)
Date	Octobre 2015
Débit et météo	Q _{moyen} : 1 600 m ³ /j, temps sec puis pluie
Masse de traceur injectée, lieu d'injection	250 g de fluorescéine, préalablement diluée dans un volume d'eau du site, injectée en sortie de station.
Pas de temps d'enregistrement	5 min

Résultats graphiques



Résultats techniques

Fluo récupérée : 69 %
 T_{réponse} : 29 heures
 T_{sthéo} : 109 heures
T_{réel} calculé : 65 heures
 V_{morts} : 40 %

Commentaires

Le taux de récupération en fluorescéine n'est théoriquement pas suffisant pour valider les interprétations de ce traçage.

Toutefois, au regard de l'allure de la courbe de restitution du traceur, on peut calculer un T_{réel} dans la ZRV de 65 h (2,7 j), à comparer au T_{sthéo} de 109 h (4,5 j).

Ainsi, en conditions de débit proche du débit nominal, le temps de séjour réel est réduit de 40 % par rapport au temps de séjour théorique.

Les traçages présentés se sont déroulés pendant la période de suivi à débit Q1. Ainsi, selon les traçages d'octobre 2015 et février 2016 sur B1, B2 et l'ensemble de la ZRV, et pour un débit entrant proche des conditions moyennes de fonctionnement hydraulique de l'aménagement (1 500 m³/j), le temps de séjour réel de l'effluent dans la ZRV s'établit à :

- un peu plus d'une journée (27 h) pour le bassin 1,
- un peu plus que 2 jours pour le bassin 2,
- environ 3 jours (65 h mesurés avec épisode pluvieux) pour l'ensemble de la ZRV.

Comparés aux temps de séjours théoriques, ces valeurs sont plus faibles, et les écarts entre valeurs théoriques et réelles semblent être équivalents dans le B1, le B2 ou dans l'ensemble de la ZRV. Les volumes morts s'établissent à environ 30 % de l'ensemble de la ZRV.

Considérant des débits mesurés généralement inférieurs au débit nominal, le traitement de l'ensemble des données analytiques (mesures de concentrations et calculs de charges, voir

partie 4.1.4) est réalisé en considérant 1 jour de temps de séjour sur le B1 puis 2 à 3 jours sur le B2, et un total de 3 à 4 jours sur la ZRV à débit Q1.

A débit Q2, des traçages ont été réalisés en mars et juin 2017 sur le bassin 2 afin de mesurer le nouveau temps de séjour suite à la mise en place du bypass. Malheureusement, le taux de récupération de la fluorescéine s'est avéré trop faible pour pouvoir exploiter les résultats de ces traçages (respectivement 13 et 2 % pour mars et juin 2017). **Toutefois, pour la période à débit Q2, les débits sont relativement peu différents de ceux à débit Q1, conduisant à utiliser le même traitement de l'ensemble des données analytiques à débit Q2 qu'à débit Q1.**

2.5.2 Lissage hydraulique

Les Figure 14 et Figure 15 résument les valeurs des trois coefficients de pointe calculés en entrée, intermédiaire et sortie de ZRV sur toute la période de juillet 2014 à avril 2017. Le coefficient de pointe est défini par le ratio entre le débit horaire maximum et le débit moyen horaire d'une même journée.

$$C_p = \frac{Q_{\text{max horaire journalier}}}{Q_{\text{moyen horaire journalier}}}$$

Les valeurs horaires étant nécessaires pour ce calcul, les débits utilisés en entrée sont ceux mesurés exclusivement par Irstea. Ainsi, les taux de valeurs disponibles pour ce calcul sont de 76 %, 61 % et 67 % respectivement pour les coefficients de pointe d'entrée, intermédiaire et de sortie.

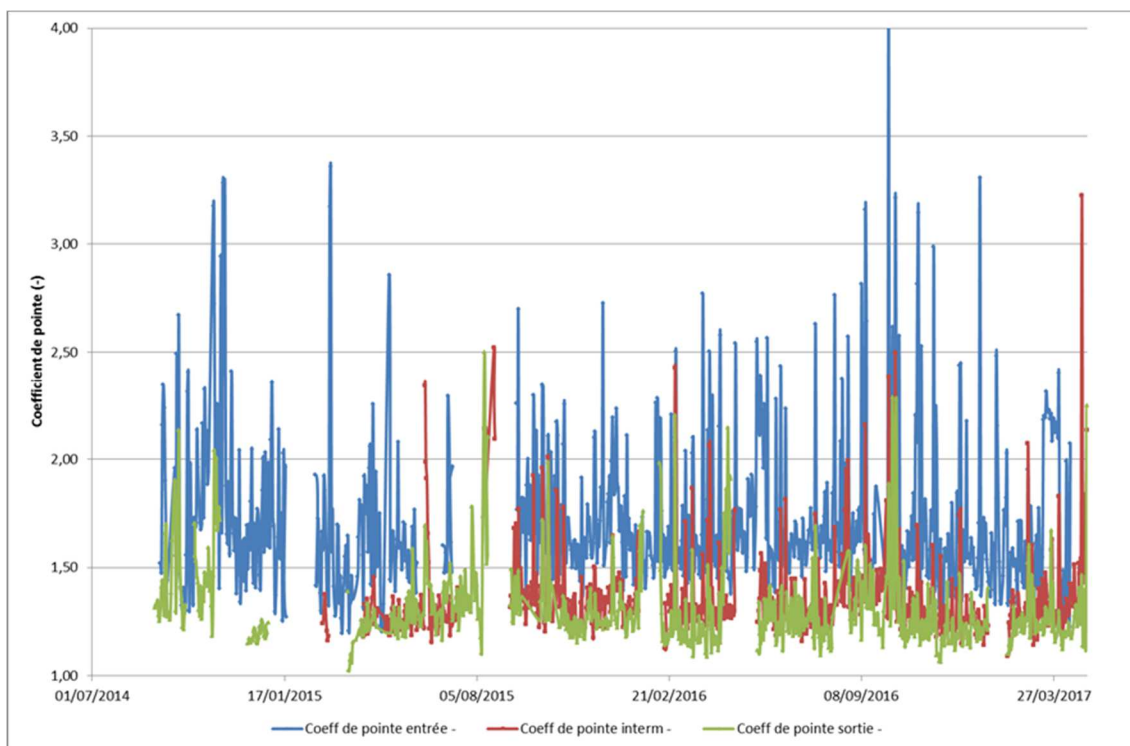


Figure 14 : Evolution des coefficients de pointe d'entrée, intermédiaire et de sortie de la ZRV

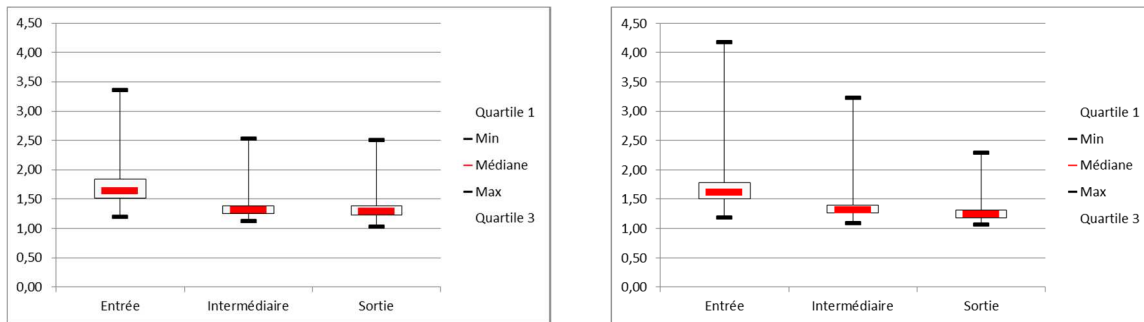


Figure 15 : Comparaison des coefficients de pointe à débit Q1 (à gauche), à débit Q2 (à droite)

La Figure 16 présente l'évaluation du lissage hydraulique de la ZRV ou de chaque bassin (ZRV, B1 ou B2) défini par le ratio entre le coefficient de pointe de sortie et celui de l'entrée.

$$Ratio_{lissage} = \frac{C_P \text{ Sortie}}{C_P \text{ Entrée}}$$

Les taux de valeurs disponibles pour l'évaluation du lissage hydraulique sont de 56, 53 et 55 % respectivement pour la ZRV, le B1 et le B2.

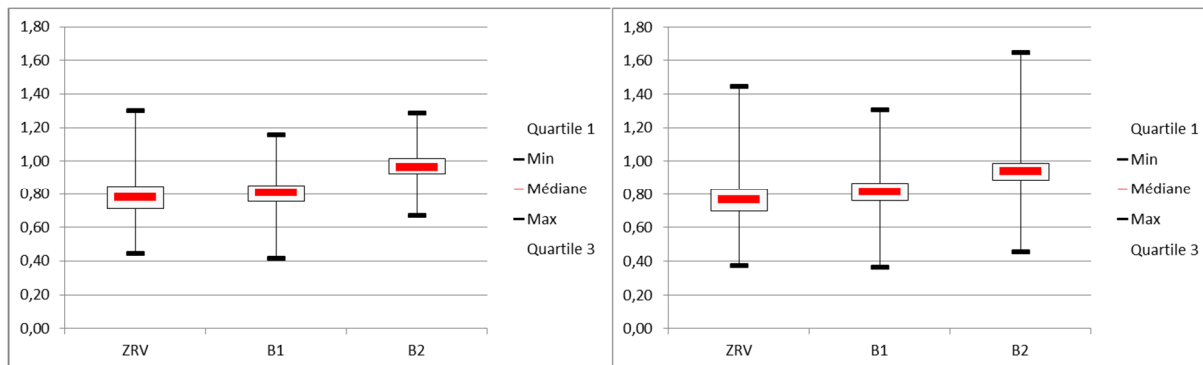


Figure 16 : Evaluation du lissage hydraulique à débit Q1 (à gauche), à débit Q2 (à droite)

L'analyse a été réalisée en séparant les deux périodes d'études à débit Q1 et Q2. Le changement de débit n'a pas induit de différence sur les coefficients de pointe. De ce fait, à débit Q2, les conclusions ne sont pas différentes de celles à débit Q1.

Au niveau de la ZRV, le coefficient de pointe en entrée est supérieur à celui en sortie. L'amplitude de variation du débit d'entrée est donc supérieure à celle du débit de sortie : la ZRV entraîne un lissage hydraulique des débits rejetés au milieu récepteur qui peut être évalué à l'aide d'un ratio qui compare ces deux coefficients de pointe. **En moyenne, l'amplitude du débit en sortie de la ZRV est réduite de 20 % par rapport à l'entrée.**

Au niveau du B1, le coefficient de pointe en entrée est également supérieur à celui en sortie. **En moyenne, l'amplitude du débit en sortie du B1 est également réduite de 20 % par rapport à l'entrée.**

En revanche, au niveau du B2, les coefficients de pointe en entrée et sortie de ce bassin sont bien souvent très proches. **Sur la période d'étude, l'évaluation du lissage hydraulique montre qu'il n'y a quasiment pas de réduction de l'amplitude du débit de sortie dans le B2, le ratio étant en moyenne de 1 sur la période d'étude.**

A la lumière de ces premiers résultats, il semble donc que seul le premier bassin permette un lissage hydraulique significatif. Ce lissage est obtenu grâce au marnage, même faible, dans ce bassin 1.

2.5.3 Capacité de décantation dans le B1

La capacité des boues à décanter en entrée de B1 (zone délimitée par les radeaux flottants) peut être décrite par le calcul de la vitesse ascensionnelle :

$$V_{asc.} = Q_{pointe} / S_{dec\ B1}$$

où $V_{asc.}$ est la vitesse ascensionnelle (m/h),

Q_{pointe} est le débit de pointe horaire (m^3/h), et

$S_{dec\ B1}$ est la surface de la zone d'entrée du bassin B1 (m^2).

La surface de la zone considérée (délimitée par les radeaux flottants) en entrée de B1 est de 50 m^2 .

Les données de vitesses ascensionnelles sur une période étudiée définie (janvier à juin 2015) sont décrites dans la Figure 17.

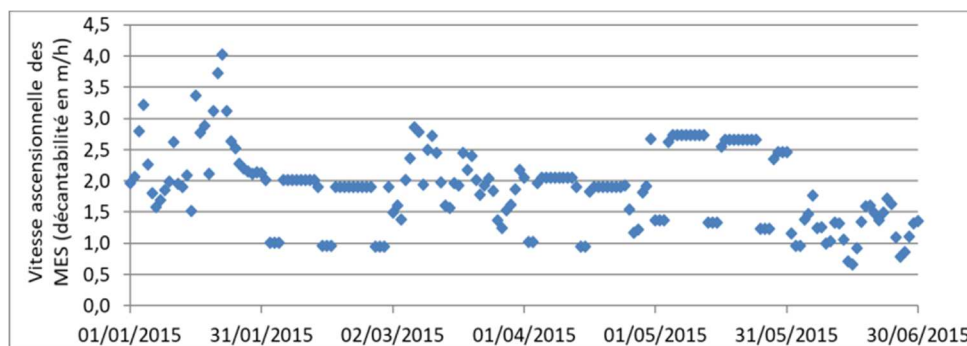


Figure 17 : Vitesse ascensionnelle des MES (décantabilité des boues) en entrée de B1 au cours de la période d'étude du débit Q1

Les vitesses ascensionnelles varient entre 0,8 et 4 m/h.

A titre de comparaison, les références en décanteurs/clarificateurs sont (FNDAE 22) :

- boues primaires : $V_{asc.} < 1,1$ m/h ;
- boues biologiques secondaires : $V_{asc.} < 0,6$ m/h, correspondant à ce que l'on devrait trouver en entrée de ZRV.

Pour obtenir des vitesses de 0,6 m/h, le débit de pointe en entrée de B1 devrait être limité à 30 m^3/h si l'on avait souhaité réduire la zone de décantation à l'espace délimité par les radeaux. De tels débits de pointe sont très régulièrement atteints et nous verrons par la suite que les boues décantées sont réparties sur tout le fond du bassin 1.

Si l'on réalise les mêmes calculs vis-à-vis de la surface totale du B1, le débit de pointe horaire correspondant s'établit à 2088 m^3/h ; la surface du B1 est très largement excédentaire pour obtenir une décantation optimisée des boues biologiques résiduelles sous forme de MES.

Le coefficient de pointe varie en moyenne (comme cela est visible sur le graphique en Figure 14) de 1,6 à 3,5. En considérant un débit moyen entrant sur la ZRV de 1 500 m^3/j , le débit horaire de pointe serait de 100 à 220 m^3/h . Pour une vitesse ascensionnelle de 0,6 m/h, la surface nécessaire à la décantation des dépôts contenus dans les effluents serait alors de 170 à 370 m^2 . Cette surface est donc 3 à 7 fois supérieure à la surface actuelle d'environ 50 m^2 .

Les traçages réalisés concluent à des temps de séjour de l'ordre d'une journée (27 h) pour le bassin B1, 2 jours pour le bassin B2, et un cumul des 2 bassins de l'ordre de 3 jours (65 h). Le volume mort est évalué à 30 % du volume total disponible.

Malgré une capacité de marnage faible et ces temps de passage réduits, les débits sont pourtant légèrement lissés ; les coefficients de pointe diminuent de 20 % par le transit dans le B1, l'impact du B2 étant quasi nul.

La surface limitée au droit de la canalisation d'arrivée n'est pas de surface suffisante pour que les boues biologiques résiduelles décantent dans cette zone uniquement, Au lieu de 50 m² actuels, cette surface devrait être au moins de 200 voire 400 m².

3. DEPOTS DE BOUES

3.1 Localisation et volumes accumulés

Afin de localiser et d'évaluer les volumes de boues stockées dans la ZRV, des bathymétries ont été réalisées en 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018 au moyen d'un bateau pneumatique et d'une canne de prélèvement munie d'un obturateur (Photo 2).



Photo 2 : Canne de prélèvement utilisée pour la bathymétrie

Le bassin B1 a été divisé en 3 zones, la zone autour du point d'alimentation ($S_{éd1}$), la zone avant la digue submergée où avaient été plantés des Scirpes ($S_{éd2}$) et la zone après cette même digue ($S_{éd3}$) comme le montre la Figure 18.

En complément, le contour du bassin (points verts sur la Figure 18) ainsi que les points de prélèvements ont été cartographiés grâce à un tachéomètre (appareil mesurant les distances et les angles entre des points de mesure sur le terrain, grâce à un rayon laser et une mire, et permettant d'établir une cartographie 1D d'un site). Chaque point noir représente une mesure de hauteur de boue. C'est pourquoi la cartographie des dépôts (Figure 18) a pu être établie. Pour les zones $S_{éd1}$ et $S_{éd2}$, un prélèvement a été effectué une mesure sur deux tandis que pour la zone $S_{éd3}$, le prélèvement était systématique du fait d'une quantité plus faible de boues. Cette cartographie ne permet pas d'intégrer précisément la géométrie de la digue submergée où des scirpes avaient été plantés et celle-ci n'est représentée qu'à titre indicatif.

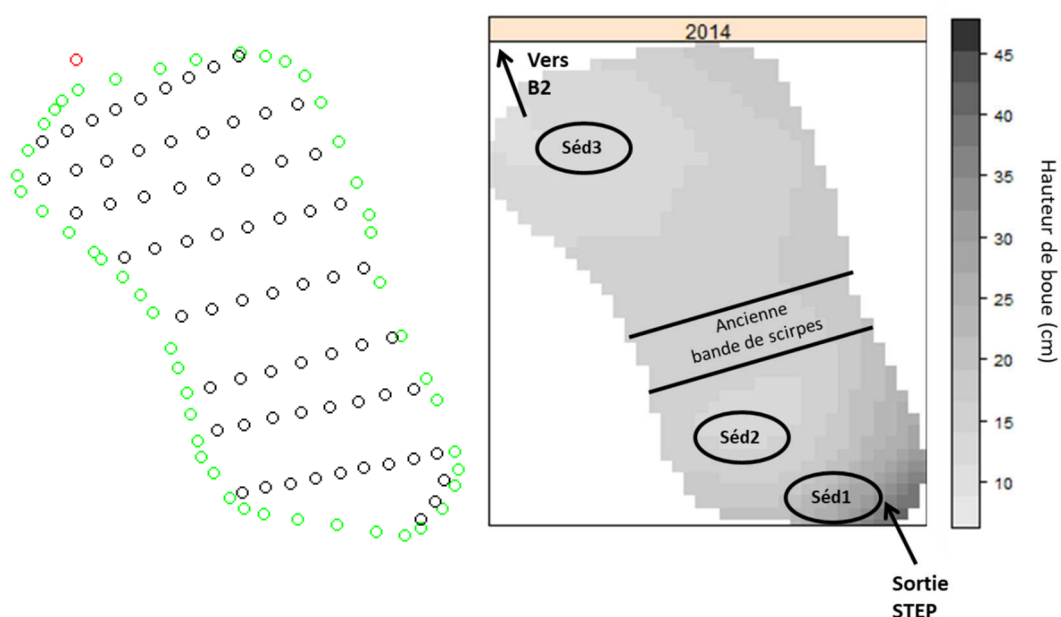


Figure 18 : Points de mesures de la bathymétrie (à gauche) et hauteurs de boues mesurées (à droite) dans le bassin B1

Le bassin B2 a également été divisé en 3 zones, la zone d'eau libre (S_{éd6}), la zone libre à herbier (S_{éd9}) et la zone delta (S_{éd12}). A partir de 2016, des mesures de hauteurs de boue et des prélèvements ont été réalisés dans chaque zone qui permettent d'estimer les volumes de boue accumulés. Toutefois, la bathymétrie du B2 n'a pas pu être aussi précise que celle du B1 du fait de l'imprécision des valeurs mesurées en lien avec les faibles hauteurs de dépôts; il n'y a donc pas de cartographie disponible pour ce bassin.

Lors de chaque bathymétrie réalisée à l'automne, les hauteurs de boues ainsi que les hauteurs utiles ont été mesurées et les valeurs recueillies sont résumées dans le Tableau 18. Ces mesures ont permis d'estimer un taux de remplissage de chaque zone de B1 et de réaliser une cartographie du B1 sous R pour chaque année (Figure 19).

Tableau 18 : Hauteur de boues et taux de remplissage en 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018 dans B1 et B2

Hauteur	2014		2015		2016		2017		2018		
	H moy (cm)	Tx de rempliss.	H moy (cm)	Tx de rempliss.	H moy (cm)	*Tx de rempliss.	H moy (cm)	*Tx de rempliss.	H moy (cm)	*Tx de rempliss.	
B1	S _{éd1}	55 [40-70]	54%	55 [40-70]	54%	53 [45-57]	52%	50 [45-55]	49%	53 [45-57]	52%
	S _{éd2}	15 [6-25]	14%	24 [15-50]	24%	21 [10-60]	21%	18 [10-25]	18%	29 [20-45]	28%
	S _{éd3}	15 [5-28]	14%	11 [4-21]	14%	19 [6-36]	18%	13 [3-27]	12%	22 [15-43]	21%
	S _{éd6}	-	-	7 [5-10]	-	8 [4-30]	-	12 [5-20]	-	13 [2-25]	-
B2	S _{éd9}	-	-	-	-	10 [0-27]	-	9 [0-15]	-	13 [2-23]	-
	S _{éd12}	-	-	-	-	10 [0-25]	-	13 [10-20]	-	11 [2-20]	-

* valeurs calculées en considérant les hauteurs d'eau mesurées en 2014 et 2015

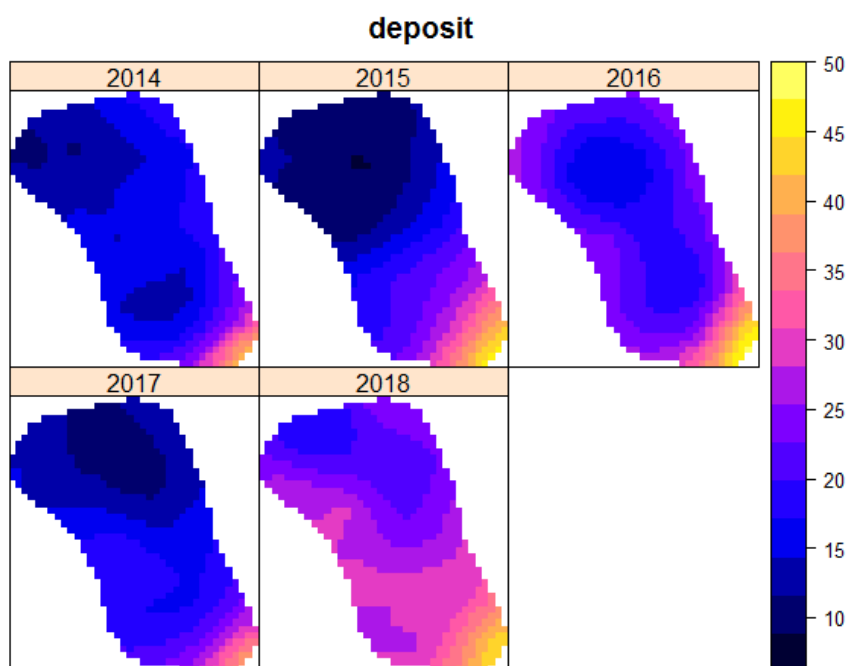


Figure 19 : Comparaison des bathymétries de 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018

Bassin 1

Au point d'alimentation (S_{éd1}), la hauteur de boues est importante et a atteint entre 50 à 60 cm de hauteur dès 2014. En revanche, elle est restée assez stable dans le temps et a même eu tendance à légèrement diminuer. Il semble que pour cette zone, cela soit le maximum, la boue se répartit ensuite un peu plus loin dans le B1.

En 2014, les hauteurs de boues sont restées très similaires sur l'ensemble du B1 (S_{éd2} et S_{éd3}) avec une hauteur moyenne de l'ordre de 15 cm. La répartition est hétérogène au sein de chaque zone et atteint des valeurs extrêmes presque identiques dans les deux parties de ce bassin.

En 2015, la hauteur de boue augmente dans la zone située avant la digue submergée (S_{éd2}) et atteint 24 cm en moyenne tandis qu'elle semble diminuer après cette même digue (S_{éd3}) ce qui pourrait être le résultat d'une minéralisation des boues présentes dans cette deuxième partie de bassin 1.

En 2016 et 2017, la hauteur de la zone avant la digue submergée semble avoir un peu diminué avant d'atteindre sa valeur maximale en 2018 (29 cm en moyenne). La hauteur moyenne de la zone située après la digue submergée a fortement augmenté en 2016 puis diminué à nouveau en 2017 pour atteindre un maximum en 2018.

Visuellement, les cartographies du B1 réalisées sous R (Figure 19) permettent de compléter les observations en représentant l'hétérogénéité des zones. La différence entre les zones avant et après la digue submergée sont notamment très visibles en 2015, 2017 et 2018. La carte de 2016 permet quant à elle de constater que ce sont surtout les abords du bassin qui ont connu une forte augmentation de la hauteur de boue. Enfin, la carte de 2018 montre les hauteurs les plus importantes mesurées depuis le début de suivi et pose la question d'un curage éventuel.

On constate ici les effets des réparations de la station d'épuration qui ont sûrement limité les apports de boues biologiques et donc contribué à limiter l'augmentation de la hauteur de boue dans le bassin 1 jusqu'en 2017. Cependant, la présence importante de végétaux flottants envahissants, même s'ils sont de mieux en mieux récoltés, a eu également un fort impact sur la hauteur de boue. Cela a d'ailleurs été plusieurs fois constaté visuellement lors des prélèvements avec une grande quantité de lentilles d'eau en décomposition. En complément de ces explications possibles, les effets de la minéralisation de ces boues dans le temps doivent également contribuer aux variations de hauteurs de ces boues. Pour autant, nous n'avons pas d'explications concernant l'augmentation des hauteurs de dépôts en 2018 ; il y a lieu de mentionner que la gestion des végétaux flottants, toujours présents n'a pas été modifiée cette année-là. Ce ne sont pas eux qui expliquent cette accumulation en 2018.

Le taux de remplissage du bassin 1 observé au bout d'une année de fonctionnement a été établi à 15 %, ce qui laissait présager des curages fréquents si ce rythme se poursuivait. Finalement, ce taux s'est plutôt stabilisé les années suivantes et n'a réellement augmenté de nouveau qu'en 2018 (21 à 28 % selon les zones).

Bassin 2

Dans le B2, les premières boues n'ont été observées qu'à partir de 2015 et ce de manière très hétérogène. Il n'avait donc pas été possible de réaliser une bathymétrie mais des prélèvements ont été réalisés en sortie de roselière et dans la zone d'eau libre (S_{éd6}). A partir de 2016, les boues sont bien présentes sur le B2 et systématiquement mesurées et prélevées. La hauteur moyenne a tendance à rester relativement stable dans le temps puisqu'elle varie de 8 à 13 cm selon la petite vingtaine de points de mesures réalisées.

Volumes de boues

Des volumes de boue ont pu être calculés à partir des hauteurs mesurées moyennées par zone et rapportées à la surface de chaque zone correspondante.

Pour le B1, un deuxième calcul a été réalisé à l'aide d'une interpolation sous R qui prenait en compte toutes les hauteurs mesurées sur l'ensemble du bassin. En considérant l'ensemble du bassin B1, les volumes obtenus grâce aux hauteurs moyennes et à partir des calculs sous R restent très similaires (Tableau 19). Ce calcul n'a pas été possible pour B2, les valeurs obtenues sous R ne seront donc pas utilisées pour le calcul des masses. En revanche, elles permettent de valider les valeurs obtenues par le premier calcul.

Tableau 19 : Volumes de boues calculés à partir des hauteurs mesurées à partir de R en 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018 sur les bassins 1 et 2

Volume (m ³)	B1				<i>Total interpolé sous R</i>	B2			Total	Total ZRV
	Séd1	Séd2	Séd3	Total		Séd6	Séd9	Séd12		
2014	17	226	278	521	<i>549</i>	-	-	-	-	521
2015	17	361	204	582	<i>574</i>	104	-	-	104	686
2016	16	316	352	684	<i>763</i>	119	137	149	405	1089
2017	15	271	241	527	<i>548</i>	178	123	193	495	1022
2018	16	436	408	860	<i>916</i>	193	178	163	535	1395

L'évolution des volumes accumulés dans la ZRV suit logiquement celle des hauteurs de boues dans les bassins. Excepté entre 2016 et 2017, le volume de boue du B1 n'a fait qu'augmenter au cours des années avec la plus forte progression enregistrée en 2018.

En ce qui concerne le B2, elles ont été mesurables à partir de 2015 et dès 2016 elles ont dépassé les 400 m³. En revanche, leur augmentation n'a pas été aussi forte que pour le B1.

Sur l'ensemble de la ZRV, entre 2014 et 2018, le volume de boues a été multiplié par 2,7 notamment en raison de l'apport des végétaux envahissants non récoltés et des épisodes de dysfonctionnement de la station d'épuration connus en 2014 et 2015.

D'un point de vue simplement quantitatif, ces résultats soulignent la nécessité de réaliser un suivi de l'évolution des ZRV en recueillant notamment les hauteurs de boues en vue de leur curage quand nécessaire.

3.2 Qualité des boues et évolution au sein du B1

Les prélèvements effectués lors des différentes bathymétries de 2015 à 2018 ont ensuite permis de constituer un échantillon moyen représentatif de chaque zone.

L'évolution des concentrations en chaque point sur les 4 ans est présentée sur la Figure 20, ces analyses n'ont pas pu être exploitées pour la bathymétrie de 2014.

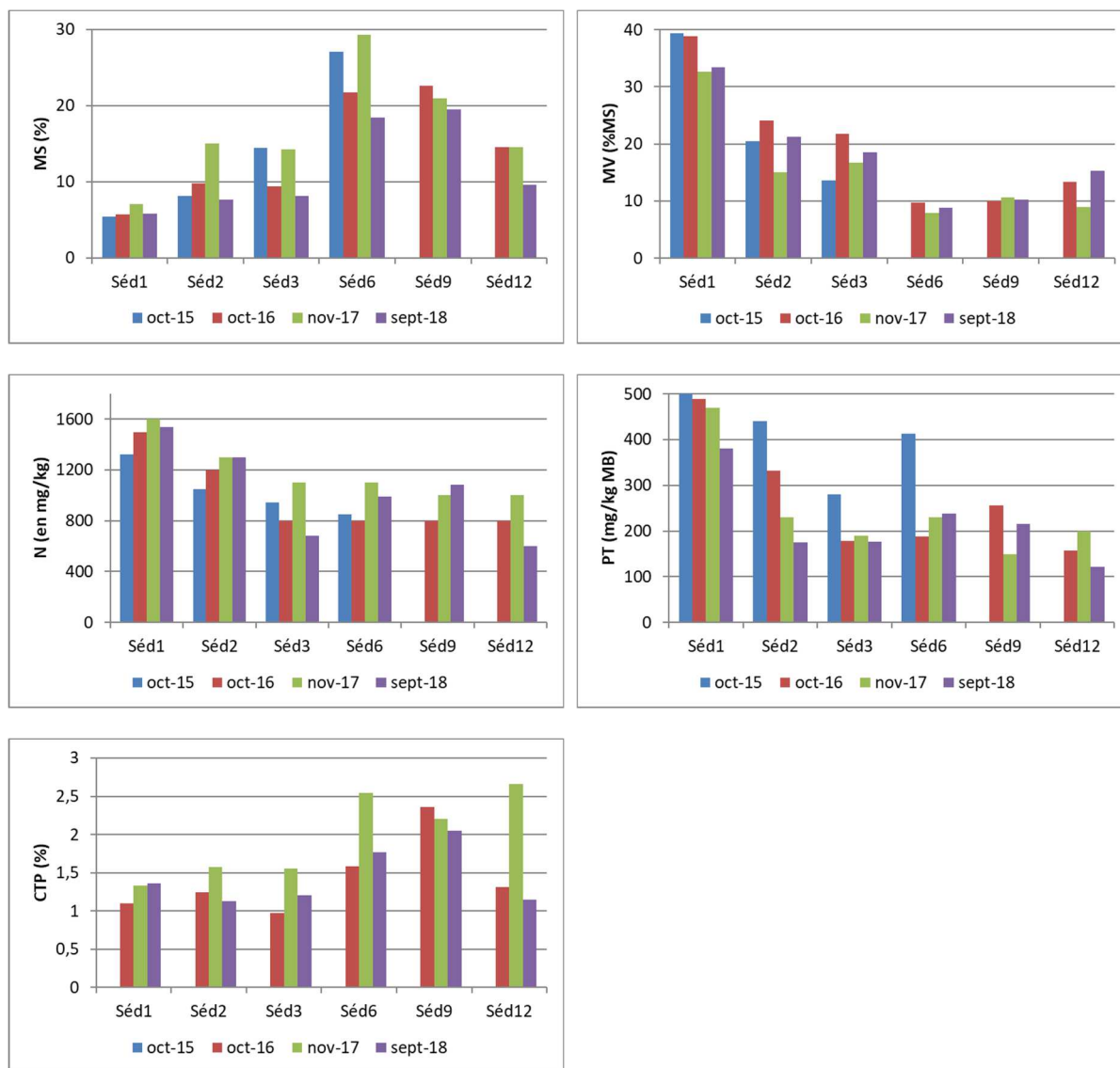


Figure 20 : Evolution des paramètres MS, MV, NT, PT et CTP au cours des bathymétries réalisées de 2015 à 2018 en 6 points de la ZRV en % de Matière Brute (MB)

L'analyse des concentrations en Matière Sèche (MS) et Matière Volatiles (MV) montre, dans un premier temps que les boues semblent de nature différente dans le B1 et le B2.

Ensuite, l'évolution de la concentration au sein même du B1 montre une minéralisation progressive des boues tout au long du B1 avec une baisse des matières volatiles (MV). Le constat est le même sur les concentrations en azote et phosphore avec une diminution de la concentration dans les boues entre l'entrée et la sortie du B1.

Ces résultats d'analyses couplés aux volumes de boues estimés par zone permettent de calculer des masses de MES, d'azote et de phosphore présentées dans les Tableau 20, Tableau 21 et Tableau 22. Il faut souligner que ces calculs engendrent des incertitudes difficiles à estimer. A noter qu'en 2015, les mesures n'ont pas pu être réalisées sur la totalité du B2, les quantités sont donc sous-estimées.

MES

Tableau 20 : Masses de MES (en kg) dans les bassins de la ZRV

Masse MES (t)	B1			Total B1	B2			Total B2	Total ZRV
	S _{éd1}	S _{éd2}	S _{éd3}		S _{éd6}	S _{éd9}	S _{éd12}		
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	0,89	29,26	29,38	59,53	28,08	-	-	28,08	87,61
2016	0,90	30,97	33,13	65,01	25,79	31,00	21,55	78,33	143,34
2017	1,06	40,63	34,24	75,94	52,23	25,80	28,01	106,04	181,98
2018	0,92	33,17	33,05	67,15	35,53	34,77	15,69	85,99	153,14

En 2015, après 2,5 ans de fonctionnement, le bassin B1 aurait donc stocké presque 60 tonnes de MES soit une moyenne annuelle de 25 tonnes. Les valeurs mesurées dans le B2 montreraient environ 28 tonnes de MES pour 2,5 ans (soit 11 tonnes en moyenne annuelle). Les boues du B2 proviennent majoritairement de la décomposition des végétaux flottants, les dépôts de boue de la station étant surtout stockés dans le B1. Cependant, cette valeur totale pour le B2 est à relativiser car lors de la bathymétrie, des boues étaient présentes aux points 9 et 12 mais les hauteurs étaient insuffisantes pour être finement mesurées. Cette valeur est donc probablement un peu sous-estimée.

A titre d'exemple, en 2015 pour expliquer la quantité de MES envoyée sur le bassin 1, le calcul suivant a été réalisé :

$$\sum Q_{(\text{mai 2013 à octobre 2015})} \times [\text{MES}]_{\text{réglementaire}}$$

avec $[\text{MES}]_{\text{réglementaire}} = 20 \text{ mg/L}^1$ et Q les débits mesurés depuis la mise en fonctionnement du site jusqu'à la bathymétrie réalisée en octobre 2015.

Par ce calcul, en 2,5 ans de fonctionnement, on expliquerait donc environ 25 t de MES sur les 60 t stockées dans le bassin 1 soit 42 %. Les 35 t restantes (soit 58 %) proviendraient donc soit de la décomposition des végétaux flottants qui ont envahi le bassin à de nombreuses reprises soit de dysfonctionnements de la station d'épuration. A titre de comparaison, 35 t de MES correspondent à une production classique² de boues biologiques pendant 2,5 ans d'une station d'épuration à Boue Activée de d'environ 900 EH. Rappelons ici, que la capacité nominale de la station d'épuration de type « boues activées » est de 15 000 EH.

Les années suivantes n'ont pas suivi la même progression. En 2016, le B1 a accumulé environ 5 tonnes supplémentaires soit presque 5 fois moins que les années précédentes en moyenne. D'après la carte présentée en Figure 19, c'est plus particulièrement sur les bords du B1 que se concentrent les boues. Le B2, du fait de la probable sous-estimation en 2015, a accumulé 56 tonnes supplémentaires. C'est un maximum car il est probable que la valeur de 2015 ait été sous-estimée.

En 2017, les bassins B1 et B2 ont respectivement accumulé un peu moins de 11 et 39 tonnes supplémentaires. Cela peut sembler surprenant d'après la Figure 19 qui présente des hauteurs de boues importantes mais c'est en réalité dû au taux de matière sèche qui a diminué entre 2017 et 2018.

¹ Cf valeurs seuils règlementaires au chapitre 4, paragraphe 1.1

² Sur la base d'un fonctionnement à charge nominale, d'une élimination de 90 % de la DBO₅ et d'une production de boues biologiques basée sur la formule de 0,8 x la quantité de DBO₅ éliminée.

Azote

Les dépôts prélevés ont fait l'objet de plusieurs analyses lors de chaque bathymétrie. Un exemple de résultats obtenus en octobre 2015 est présenté dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Analyses de boues en paramètres carbonés, azote et phosphore en octobre 2015

Paramètres	B1			B2
	S _{éd 1}	S _{éd 2}	S _{éd 3}	S _{éd 6}
MES (g/L)	42,0	77,1	149	267
MVS (%)	39,4	20,5	13,6	6,3
MS (%)	5,4	8,1	14,4	27,0
NK (mg/L)	1320	1050	945	851
Pt particulaire* (mg/L)	493	419	291	409

*Valeurs de Pt particulaire recalculées à partir des valeurs de Pt en mg/g

Les analyses présentées dans le Tableau 22 montrent une évolution de la qualité des boues au long du B1 avec une minéralisation progressive de ces dépôts.

En considérant que la boue localisée au niveau de S_{éd1} est la plus récente et que la boue localisée au niveau de S_{éd3} est la plus minéralisée, il est possible d'estimer la masse maximale d'azote Kjeldhal susceptible d'avoir été minéralisée au sein de ce bassin B1. Pour cela, on calcule la quantité de NK présente si l'ensemble des boues stockées (580 m³ en 2015) était resté sous forme de S_{éd1} (1320 mg/L) soit 770 kg NK, puis on la compare à l'état des boues au moment de la bathymétrie présentée dans le Tableau 22 soit 634 kg de NK. Il y aurait donc eu, en 2,5 ans, 136 kg NK minéralisé au sein de ce bassin B1 soit environ 150 g par jour.

Tableau 22 : Masses de N (en kg) dans les bassins de la ZRV

Masses N (en kg)	B1			Total B1	B2			Total B2	Total ZRV
	S _{éd1}	S _{éd2}	S _{éd3}		S _{éd6}	S _{éd9}	S _{éd12}		
2015	21	470	143	634	83	-	-	83	717
2016	24	379	282	685	95	110	119	324	1009
2017	24	352	265	641	602	20	178	801	1442
2018	24	567	286	877	732	61	116	909	1786

Les masses de N calculées pour chaque année (Tableau 22) semblent être stables sur le B1. Malgré le constat d'une minéralisation des dépôts tout au long du B1, il semble que cette perte soit compensée par d'autres apports. En revanche sur le B2, la quantité de N augmente chaque année, probablement en raison de la décomposition des végétaux qui s'accumulent dans le bassin. Cette quantité augmente plus fortement en 2018. Cette valeur peut traduire un nouvel apport de boue ou des incertitudes plus fortes sur le volume de boue estimé en raison d'une répartition plus hétérogène.

Phosphore

Tableau 23 : Masse de Pt (en kg) dans les bassins de la ZRV

Masses Pt (en kg)	S _{éd1}	S _{éd2}	S _{éd3}	Total B1	S _{éd6}	S _{éd9}	S _{éd12}	Total B2	Total ZRV
2015	8	151	59	219	43	-	-	43	261
2016	8	105	63	175	22	35	23	81	256
2017	7	62	46	115	41	19	39	98	213
2018	6	76	72	154	46	39	20	104	258

Les masses de P calculées pour chaque année (Tableau 23) ont tendance à diminuer et confirment la minéralisation des dépôts du B1, excepté en 2018 où la valeur remonte, traduisant peut-être de nouveaux apports de boues. En revanche, sur le B2, la quantité de phosphore augmente de quelques kg par an dont l'origine semble être les végétaux.

Eau interstitielle

L'eau interstitielle des boues a été analysée en 2017 et 2018. Les résultats sont présentés en ANNEXES (n°1) et des différences de qualité sont visibles entre ces 2 années.

- En 2017, les concentrations en $N-NH_4^+$ de l'eau interstitielle étaient comprises entre 5 et 12 mg/L avec une concentration en nitrates constante autour de 2,7 mg/L.
- En 2018, les concentrations en $N-NH_4^+$ ont augmenté (comprises entre 18 et 28 mg/L) et les concentrations en $N-NO_3^-$ sont toutes en dessous de la LQ. Cette même année, la concentration en Norg dissous est très importante au point $S_{éd1}$ (15,1 mg/L), comparée aux autres points de prélèvements.

Ces valeurs traduisent un transfert de phase de la fraction solide vers la fraction liquide de la matière organique. Les fortes valeurs de 2018 peuvent s'expliquer par l'ancienneté du dépôt au point $S_{éd1}$ dans lequel le transfert de la matière organique vers une forme dissoute est de plus en plus marqué. En 2018, l'espace $S_{éd1}$ est comblée de boues anciennes (dans cet espace de petite taille) et les dépôts frais qui ne peuvent plus s'y déposer, rejoignent directement les espaces suivants.

Concernant les $P-PO_4^{3-}$, les concentrations sont similaires en 2017 et 2018 avec une tendance à la diminution sur le B1 et à l'augmentation sur le B2.

Pour le $N-NH_4^+$ comme le $P-PO_4^{3-}$, les concentrations mesurées les plus fortes ont été en tête du B1.

3.3 Qualité des boues et évolution au sein de la ZRV pour les métaux

Pour l'année 2014, aucun prélèvement n'a été réalisé en vue de l'analyse des métaux dans les boues de la ZRV. En octobre 2015, 5 échantillons de boues ont été prélevés ; le détail des points de prélèvement est mentionné dans le Tableau 24. Il s'agit de 4 échantillons de boue prélevés dans la ZRV (bassins B1 et B2) et d'un échantillon de boue du clarificateur de la station.

Tableau 24 : Echantillons de boue prélevés dans la ZRV en vue de l'analyse des métaux lors de la campagne d'octobre 2015

Code échantillon	Renseignements
5-1S	Boue clarificateur (hors ZRV)
5-2S	Boue entrée ZRV (B1)
5-2bisS	Boue B1 (B1)
5-3S	Boue point 3 (B1)
5-6S	Boue point 6 (B2)

3.3.1 Préparation et analyse des échantillons

Dès leur arrivée au laboratoire, les échantillons sont placés au réfrigérateur pendant 24 h afin de les laisser décanter puis le surnageant a été séparé de la partie solide. La fraction solide a ensuite été congelée, séchée par lyophilisation et enfin broyée avec un broyeur automatique à billes en agate. Les échantillons sont conservés dans un dessiccateur avant analyse.

Les échantillons solides ainsi obtenus ont ensuite été minéralisés à l'eau régale (3 volumes HCl : 1 volume HNO₃) puis analysés par ICP-OES (spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence) pour 24 métaux selon la norme NF EN ISO 11885. Ces éléments ont été choisis car ce sont les mêmes que ceux analysés dans les échantillons d'eau.

La teneur en eau résiduelle des échantillons solides lyophilisés a été vérifiée avant analyse et les concentrations calculées ont été corrigées de cette teneur en eau afin d'exprimer les résultats en mg/kg de poids sec d'échantillon de boue.

Le protocole analytique a été validé à l'aide d'un matériau de référence certifié (MRC) de type « boue domestique » (BCR-144R) qui a été minéralisé et analysé en même temps que les échantillons. D'autres contrôles qualités ont également été ajoutés lors de l'analyse afin de garantir la justesse de l'étalonnage et contrôler une éventuelle dérive instrumentale. Les résultats de ces différents contrôles qualité ont tous été satisfaisants.

Les limites de quantification indiquées dans le Tableau 25 ont été déterminées selon la norme NF T 90-210 pour une prise d'essai de 300 mg (poids sec, PS). Les incertitudes analytiques (incertitude élargie, k = 2) sont fixées à 20 % pour cette série d'analyse.

3.3.2 Concentrations en métaux obtenues dans les boues

Les concentrations en métaux présentées dans le Tableau 25 sont celles obtenues dans la fraction solide et sont données en mg/kg de poids sec.

Tableau 25 : Concentrations en métaux (en mg/kg de poids sec) dans les boues de la ZRV et du clarificateur de la STEU prélevées lors de la campagne d'octobre 2015. (Classement par concentrations en métaux croissantes dans l'échantillon 5-1S).

Elément	LQ	5-1S	5-2S	5-2bisS	5-3S	5-6S
		Boue clarificateur	Boue entrée ZRV (B1)	Boue B1	Boue point 3 (B1)	Boue point 6 (B2)
Cd	0.60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Sb	7.0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Se	7.0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Tl	3.0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ag	3.0	<LQ	5.0	<LQ	<LQ	<LQ
As	3.0	<LQ	5.3	5.0	4.0	5.7
Li	3.0	<LQ	15.5	16.0	18.9	21.1
Co	1.5	2.8	5.3	5.4	4.9	5.4
Mo	0.70	3.1	2.2	2.3	1.0	<LQ
V	8.0	9.2	30.6	33.4	32.9	35.2
Rb	13	14.9	44.0	49.6	55.5	57.2
Ni	2.0	15.3	22.2	21.0	16.7	17.6
Cr	3.0	17.5	33.0	32.0	28.1	30.8
Pb	8.0	19.2	28.2	26.5	15.9	16.8
Sn	3.0	21.1	15.9	13.9	3.9	<LQ
Mn	3.0	88.7	187	178	210	251
B	1.5	105	39.2	54.2	49.2	22.4
Ba	3.0	129	157	123	96.4	120
Ti	7.0	140	516	524	573	616
Sr	3.0	183	276	265	350	348
Cu	3.0	206	169	148	33.9	13.8
Zn	2.0	537	486	469	157	68.9
Al	2000	3070	13700	14000	15200	17187
Fe	2000	21000	37100	25500	15500	14180

Sur les 24 éléments analysés, 4 ne sont jamais quantifiés (Cd, Sb, Se, Tl) et Ag est quantifié uniquement au point 5-2S (*entrée ZRV*) à une concentration proche de la LQ (5 mg/kg PS pour une LQ à 3 mg/kg PS). Li et As ne sont pas quantifiés dans l'échantillon 5-1S qui correspond à la boue *du* clarificateur et Mo et Sn ne sont pas quantifiés dans l'échantillon 5-6S qui a été prélevé dans le B2. Tous les autres éléments sont quantifiés dans tous les échantillons.

3.3.3 Evolution spatiale de la concentration en métaux dans les boues

La Figure 21 représente les concentrations en métaux obtenues dans les boues de la ZRV et du clarificateur de la station lors de la campagne d'octobre 2015. Excepté pour Mo, Sn, B, Cu et Zn, les concentrations en métaux de la boue prélevée dans le clarificateur (échantillon 5-1S) sont inférieures à celles des échantillons de boues de la ZRV. Le temps de séjour de cet échantillon est plus faible que les autres ce qui peut expliquer ces différences de concentrations. Il a été prélevé afin d'avoir un repère de la qualité des boues en cas de dysfonctionnement de la STEP et les résultats obtenus n'entrent pas dans la discussion sur l'évolution des concentrations en métaux dans la ZRV.

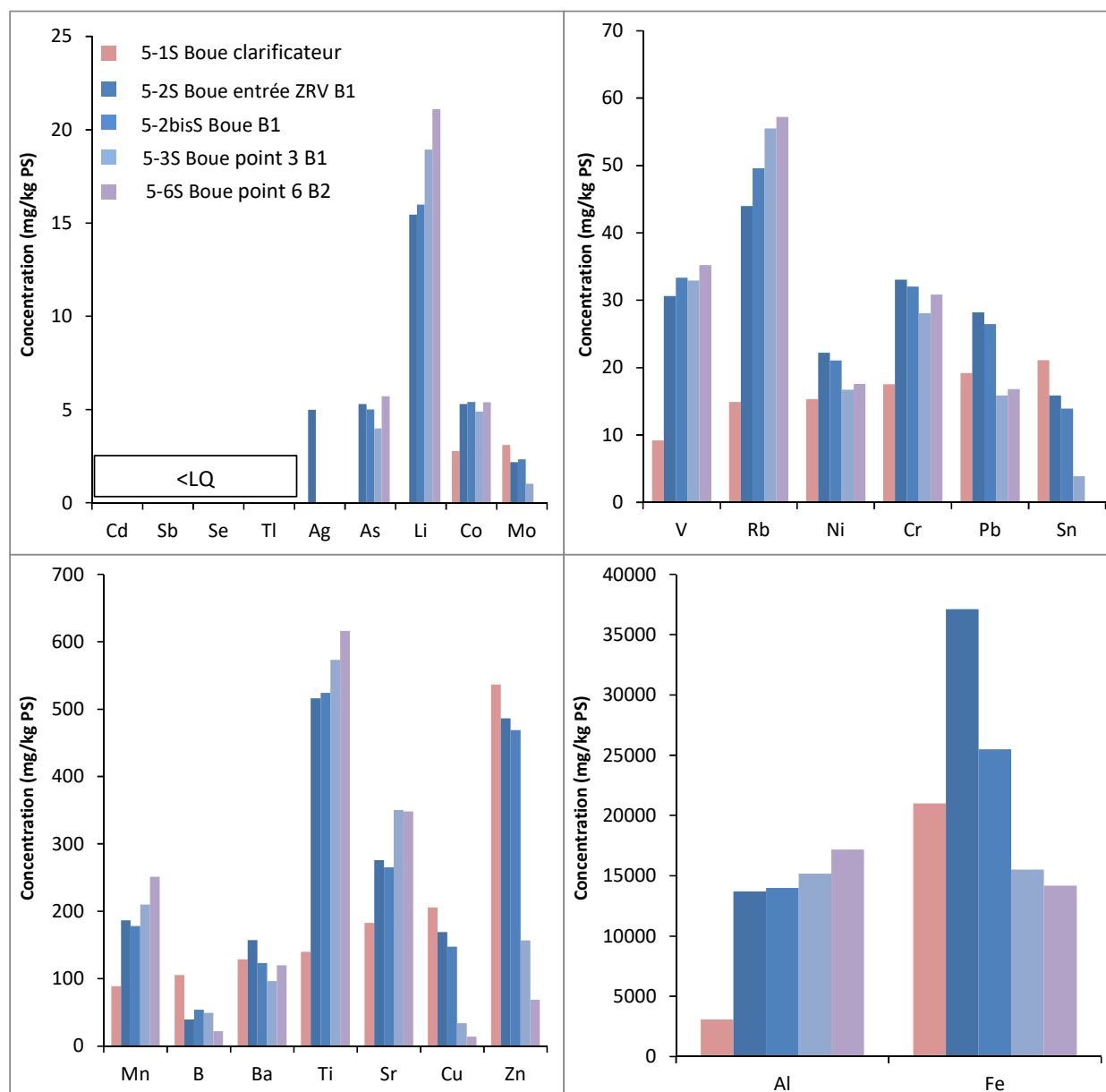


Figure 21 : Concentrations en métaux en mg/kg de poids sec dans les boues de la ZRV et du clarificateur de la STEU prélevées lors de la campagne d'octobre 2015. (Classement par concentrations croissantes dans l'échantillon 5-1S Boue clarificateur).

Le Tableau 26 illustre l'évolution des concentrations en métaux dans les boues de la ZRV dans le bassin 1, puis dans l'ensemble des bassins 1 et 2. Lorsque le pourcentage de variation entre deux points de prélèvements est inférieur à l'incertitude analytique (de l'ordre de 20 % pour la majorité des éléments), alors l'évolution est considérée comme nulle. Si ce pourcentage est compris entre 20 et 40 %, on peut considérer qu'il y a une probable augmentation ou diminution de la concentration entre les deux points de prélèvement. Lorsque l'évolution est supérieure à 40 %, l'augmentation ou la diminution sont

considérées comme importantes. L'évolution dans le B1 a été séparée en 2 parties : tout d'abord entre les points 5-2S et 5-2bisS qui ont été prélevés à l'entrée de la ZRV en amont de la digue submergée ; puis entre les points 5-2S et 5-3S, c'est-à-dire entre l'entrée et la sortie du B1.

Sur les 20 métaux analysés et quantifiés, 16 ne présentent pas d'évolution significative entre les points 5-2S et 5-2bisS. En revanche, la concentration en B augmente de moins de 40 % entre ces deux points et les concentrations en Ag, Ba et Fe diminuent de moins de 40 %.

Entre l'entrée et la sortie du B1, l'évolution de la concentration pour 7 métaux sur 20 est négligeable. La concentration augmente de moins de 40 % pour 4 métaux (Li, Rb, Sr, B), elle diminue de moins de 40 % pour 3 métaux (Ni, Pb, Ba) et de plus de 40 % pour Cu, Mo, Sn, Zn et Fe.

Sur l'ensemble de la ZRV (B1 + B2), la concentration en métaux diminue pour 9 éléments sur 20 dont 4 de plus de 40 % (Cu, Zn, B et Fe). La concentration en Al, Li, Mn, Rb, Sr et Ti augmente de 20 à 40 % et l'évolution est inférieure à 20 % pour As, Co, Cr et V.

L'évolution de la concentration en Ag n'a pas pu être évaluée précisément car les concentrations mesurées aux points 5-3S et 5-6S ne sont pas quantifiées.

Tableau 26 : Evolution des métaux dans les boues de la ZRV lors de la campagne d'octobre 2015 dans le B1 puis dans l'ensemble de la ZRV (B1 + B2).

2015	B1		B1 + B2
	Evolution entre 5-2S et 5-2bisS (%)	Evolution entre 5-2S et 5-3S (%)	Evolution entre 5-2S et 5-6S (%)
Al	==	==	↗
As	==	==	==
Co	==	==	==
Cr	==	==	==
Cu	==	↘↘	↘↘
Li	==	↗	↗
Mn	==	==	↗
Mo	==	↘↘	↘
Ni	==	↘	↘
Pb	==	↘	↘
Rb	==	↗	↗
Sn	==	↘↘	↘
Sr	==	↗	↗
Ti	==	==	↗
V	==	==	==
Zn	==	↘↘	↘↘
B	↗	↗	↘↘
Ba	↘	↘	↘
Fe	↘	↘↘	↘↘
Ag	↘	nc	nc

Légende :

- % évolution < incertitude analytique ==
- incertitude analytique < % évolution < +40% ↘
- % évolution > +40% ↘↘
- incertitude analytique < % évolution < - 40% ↗
- % évolution > - 40% ↗↗
- non calculable nc

L'important volume de boues stocké dans le bassin 1, mesuré en 2014 n'a que peu évolué en 2015. Ce taux de remplissage reste proche de 15 %.

En 2018, l'entrée du bassin B1 (S_{éd}1) ne piège plus de boues fraîches et mériterait d'être curée.

Au sein de ce bassin 1, les boues sont de qualités différentes qui traduisent une minéralisation partielle de l'amont vers l'aval.

Les masses de nutriments et de métaux stockées dans les boues sont quantifiées.

Les masses de nutriments stockés pourront être intégrées dans le bilan de masse.

4. EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU : ANALYSES DES PARAMETRES MAJEURS (DCO, DBO5, MES, C, N ET P)

4.1 Les matières organiques dans le compartiment eau

4.1.1 Qualité de l'eau introduite en ZRV et charges appliquées

En rappel, voici, ci-après les seuils réglementaires de la station d'épuration de Marguerittes. Les seuils limites de concentrations sur les paramètres carbonés en sortie de la station de traitement des eaux usées de Marguerittes sont mentionnés dans l'arrêté préfectoral n° 2007-11-14 du 11 janvier 2007 et reportés dans le Tableau 27 suivant.

Tableau 27 : Seuils réglementaires en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètres carbonés)

Paramètres	Concentrations maximales (mg/L)	Conditions de conformité
DCO	50	Sur résultats moyens journaliers
DBO ₅	15	Sur résultats moyens journaliers
MES	20	Sur résultats moyens journaliers

Ces fortes exigences ne sont pas courantes et soulignent la fragilité du milieu récepteur. En plus de ces paramètres réglementaires, le Carbone Organique Total (COT) et le Carbone Organique Dissous (COD) ont été analysés. Le COT est un critère de pollution organique qui mesure la teneur en carbone de tous les composés organiques dissous et non dissous présents dans les eaux résiduaires (matières oxydables telles que cellulose, substances humiques, huiles, sucres, etc.). Le COT est composé du COD et du carbone organique particulaire. La mesure du COD est réalisée sur un échantillon d'eau usée traitée filtrée (filtration à 0,45 µm). Le COD est donc un paramètre physicochimique utilisé pour caractériser le taux de carbone dissous dans les eaux, reflet de la pollution organique des milieux aquatiques. En effet, une détérioration de la qualité de l'eau (notamment eau potable) peut être reflétée par une augmentation de la teneur en COD. Rappelons que le carbone est un élément nutritif pour les microorganismes (notamment pour la formation de biofilms).

En entrée de la ZRV, l'ensemble des données Irstea disponibles est présenté dans le

Tableau 28 : prélèvements ponctuels et bilans 24h, de mars 2015 à février 2016 (à débit Q1), puis de mars 2016 à février 2017 (à débit Q2). Les concentrations sont très différentes selon le mode de prélèvement (ponctuels ou bilans 24h). Les valeurs maximales sont obtenues lors de l'un des bilans 24h, en octobre 2015, en situation de net dysfonctionnement de la station d'épuration en amont de la ZRV.

Tableau 28 : Concentrations et charges moyennes en entrée de ZRV en DCO, DBO, COT, COD et MES (mars 2015 à février 2017)

		Concentration entrée ZRV (mg/L)					Charge entrante sur la ZRV (kg/j)					
		Moy	ET	Min	Max	Nb val	Moy	ET	Min	Max	Nb val	
DCO brute	Q1	<i>Ponctuels</i>	36	12	20	62	9	50	34	20	135	9
		<i>Bilans 24h</i>	107	99	28	245	4	151	132	49	337	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	29	7	20	43	9	37	13	24	63	9
		<i>Bilans 24h</i>	26	7	20	36	6	36	11	26	56	6
DCO filtrée	Q1	<i>Ponctuels</i>	20	1	20	23	9	27	8	20	44	9
		<i>Bilans 24h</i>	96	103	20	238	4	134	139	32	328	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	22	5	20	33	7	27	10	20	48	7
		<i>Bilans 24h</i>	22	3	20	26	5	32	14	20	56	5
DBO5	Q1	<i>Ponctuels</i>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		<i>Bilans 24h</i>	7	2	6	9	2	12	2	11	14	2
	Q2	<i>Ponctuels</i>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		<i>Bilans 24h</i>	3	0	3	3	3	4	1	3	4	3
COT	Q1	<i>Ponctuels</i>	12	7	8	29	8	17	18	8	62	8
		<i>Bilans 24h</i>	35	26	12	71	4	50	34	21	97	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	10	1	8	12	9	13	3	9	17	9
		<i>Bilans 24h</i>	9	2	7	11	6	13	5	10	22	6
COD	Q1	<i>Ponctuels</i>	8	2	5	13	8	9	3	7	16	8
		<i>Bilans 24h</i>	30	29	6	68	4	41	40	10	94	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	8	1	7	10	9	10	2	8	13	9
		<i>Bilans 24h</i>	8	2	6	10	6	11	3	9	18	6
MES	Q1	<i>Ponctuels</i>	12	11	2	41	20	18	20	2	89	20
		<i>Bilans 24h</i>	13	9	6	25	4	21	15	9	40	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	6	4	2	15	22	9	9	2	43	22
		<i>Bilans 24h</i>	3	2	0	5	7	5	4	0	14	7

En entrée de ZRV, les charges admises varient d'environ :

- 30 à 300 kg/j en DCO,
- 11 à 14 kg/j en DBO₅,
- 2 à 90 kg/j en MES.

Pour comparer avec les bases de dimensionnement de la filière d'épuration par lagunage naturel (

Tableau 29), les charges admises sont rapportées à la surface totale de plans d'eau (10 750 m² soit 1,075 ha) ou à la surface du bassin 1 (3 680 m² soit 0,368 ha).

Vis-à-vis des paramètres DCO et MES, les surcharges appliquées sur la lagune de tête existent dès que les charges reçues journalières dépassent respectivement 44 kg/ha/j ou 20 kg/ha/j. Les surcharges sur l'ensemble de la ZRV, à partir de 130 kg de DCO et 60 kg de MES, sont moins marquées.

Les charges surfaciques appliquées calculées pour la DBO₅, très inférieures aux charges surfaciques admises en lagunage naturel, à la fois sur la filière complète mais aussi sur le bassin de tête, portent sur un faible nombre de données. Ces valeurs de charges sont pourtant le reflet de la qualité d'un effluent traité dont l'équilibre en DCO vis-à-vis de la DBO₅ est différent de celui d'une eau usée brute.

Tableau 29 : Comparaison des charges surfaciques moyennes appliquées en DCO, DBO₅ et MES sur la ZRV de Marguerittes à celle d'un lagunage naturel pour le traitement des eaux usées brutes

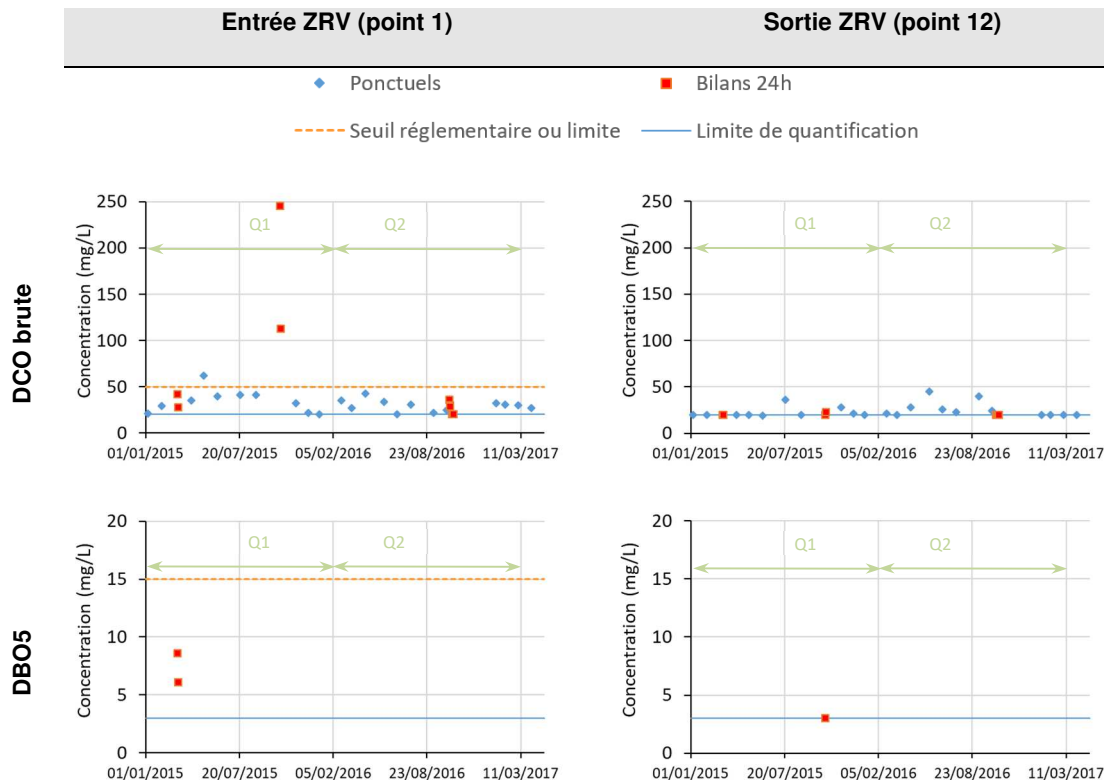
	Charges journalières surfaciques appliquées (kg/ha/j)					
	En lagunage naturel *	Sur l'ensemble de la ZRV de Marguerittes		Sur la lagune de tête*	Sur B1 à Marguerittes	
		Q1	Q2		Q1	Q2
DCO brute	119	94 [32 à 220]	34 [23 à 55]	218	275 [93 à 642]	99 [68 à 161]
DBO ₅	45	11 [10 à 13]	-	83	33 [29 à 37]	-
MES	55	18 [5 à 60]	7 [1 à 27]	100	53 [15 à 175]	19 [3 à 78]

* Selon la référence de 50 gDBO₅/j pour une charge nominale de lagunage, et en considérant une surface de 11 m²/hab au total pour un lagunage composé de 3 lagunes et de 6 m²/hab pour une lagune de tête (Racault Y. et al, 1997).

Les charges introduites diminuent sensiblement entre les deux périodes à débit Q1 et débit Q2 alors que le by-pass n'est réalisé qu'à l'aval du bassin B1. Ce constat, déjà établi lors de l'analyse de charges hydrauliques, va probablement rendre complexe la comparaison souhaitée au niveau du bassin B2 portant sur l'impact du temps de séjour.

4.1.2 Evolution des concentrations entrée-sortie de la ZRV et au cours de la période d'étude

Les données issues des prélèvements ponctuels et des bilans 24h réalisés par Irstea en sortie de la station d'épuration (entrée ZRV) et en sortie de ZRV, sont présentées dans la Figure 22, pour la période d'étude de janvier 2015 à avril 2017.



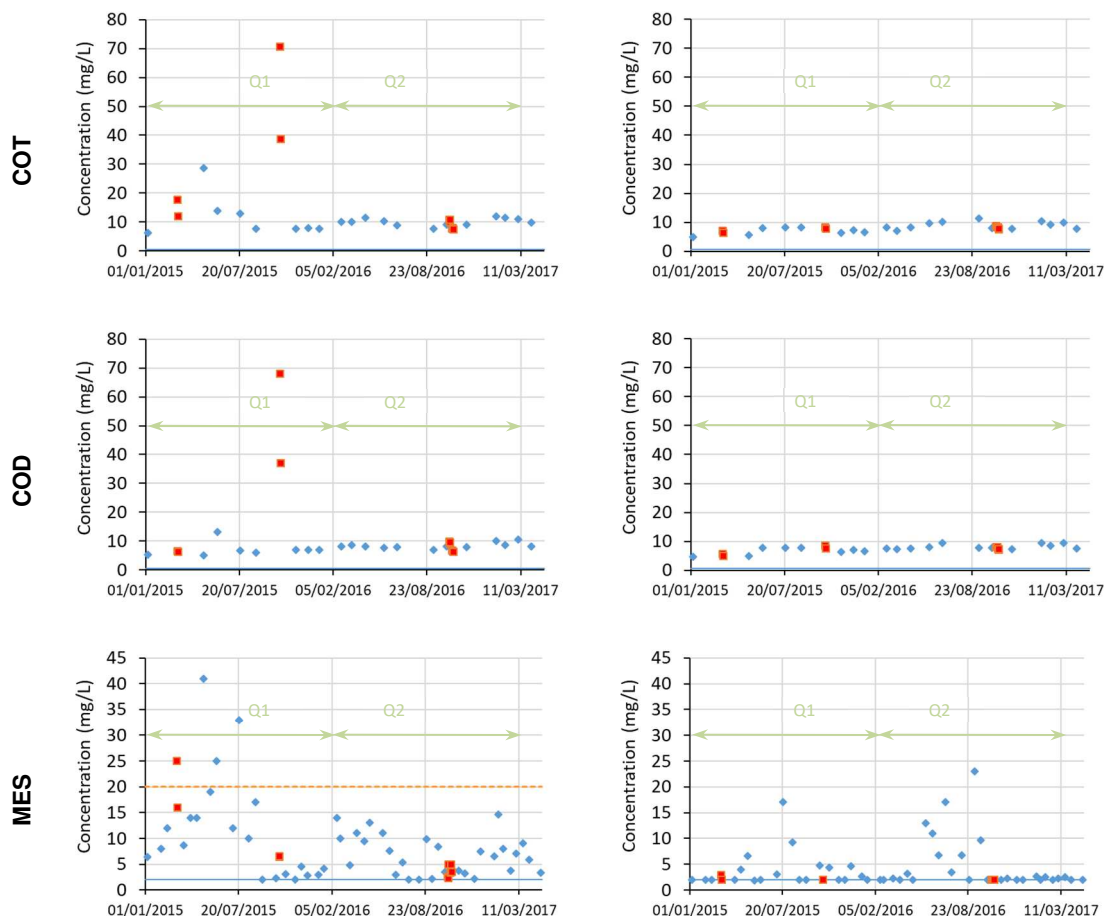


Figure 22 : Évolution des concentrations en paramètres carbonés au cours du temps sur la ZRV (mesures Irstea)

Sauf exceptions, les seuils de qualité définis réglementairement en sortie de station d'épuration sont respectés. Ainsi, les concentrations admises sur la ZRV sont toujours faibles. Elles sont par ailleurs relativement stables au cours du temps.

En ce qui concerne le COT et COD, les résultats sont exprimés en mg de Carbone/L. L'amplitude de variations de ces paramètres COT et COD sont respectivement de [6-71 mg/L] et [5-68 mg/L], mesurés lors des bilans 24h et des prélèvements ponctuels.

Les ratios constatés sur la ZRV de Marguerittes en entrée de la ZRV sont présentés dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Ratios DCO_{brute} /COT des bilans 24h Irstea et prélèvements ponctuels en entrée de ZRV

	Bilans 24h Istea		Prélèvements ponctuels	
	Q1	Q2	Q1	Q2
Moyenne	2,8	2,8	3,3	2,9
Min.	2,3	2,5	2,2	2,2
Max.	3,5	3,3	5,3	3,7
Ecart-type	0,5	0,3	1,0	0,4
Nb. val.	4	6	8	8

Les ratios DCO_{brute}/COT sont similaires pour les bilans 24h et les prélèvements ponctuels, bien qu'ils soient plus variables pour ces derniers. Le lien entre les paramètres DCO brute et COT est stable et la DCO brute peut être estimée à 3,1 fois le COT (Figure 23).

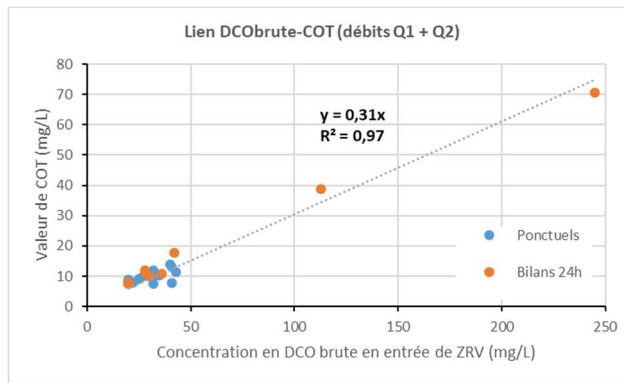


Figure 23 : Lien DCO brute avec COT en entrée de ZRV

Ce ratio n'est malheureusement pas calculable pour les points intermédiaires (sortie B1) et sortie ZRV étant données les trop faibles concentrations en DCO (< LQ) en ces points.

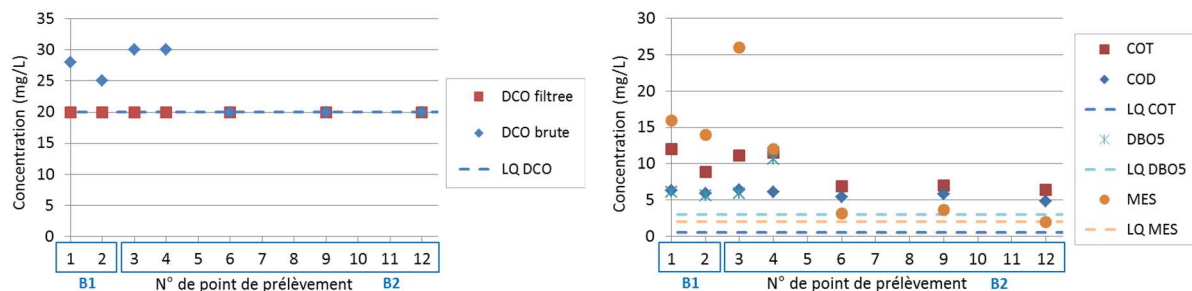
En sortie générale de ZRV, toutes les concentrations mesurées sont très faibles. Seul le paramètre MES (20 mg/L) montre une fois un dépassement au seuil imposé au rejet de la station de traitement des eaux usées.

4.1.3 Evolution des concentrations au sein de la ZRV

Pour rappel, le point 1 correspond à la sortie de la station de traitement des eaux usées (entrée ZRV), le point 33 à la sortie du B1 et le point 12 à la sortie de la ZRV.

Deux exemples contrastés issus de 2 bilans 24h Irstea sont présentés ci-après.

Bilan 24h Irstea du 11 mars 2015 : le rejet de la station d'épuration est de très bonne qualité et les analyses fournissent des valeurs proches des limites de quantification pour chaque paramètre.

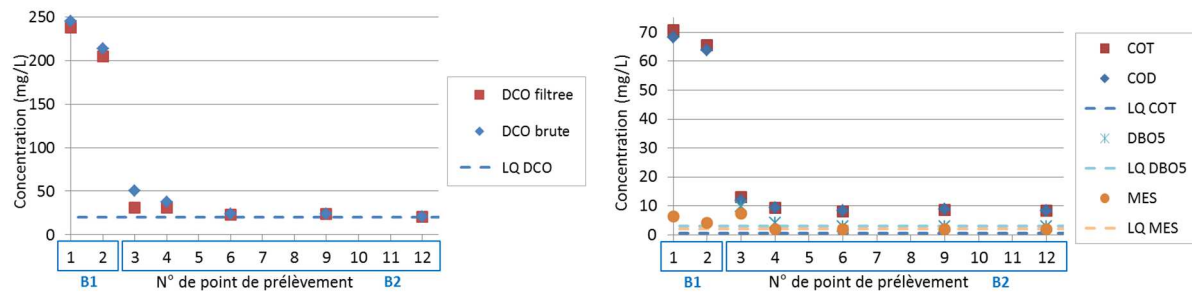


Figures 24 : Evolution des concentrations en DCO brute et filtrée (gauche), DBO₅, COT, COD et MES (droite) au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015)

Les éléments des Figures 24 présentent les résultats d'un bilan 24h au cours duquel, bien que la qualité de sortie soit toujours meilleure que celle d'entrée de ZRV, il n'est pas possible d'attribuer un impact quelconque sur le traitement des matières organiques de la ZRV (incertitudes analytiques du fait de la proximité des valeurs avec les limites de quantification). Attention toutefois, il convient de relativiser par rapport aux temps de séjour non intégrés à cette représentation graphique : les effluents entrants ne correspondant pas à ceux du rejet en sortie de ZRV.

3 Notons que les prélèvements au point 3 (sortie B1) peuvent être entachés d'erreurs du fait de l'accumulation de flottants (débris végétaux, algues, boues flottantes, lentilles d'eau, etc.) avant le passage de l'eau en direction du B2 par le biais d'une cloison siphonée.

Bilan 24h Irstea du 16 octobre 2015 : le rejet de la station d'épuration est de qualité médiocre à mauvaise.



Figures 25 : Evolution des concentrations en DCO brute et filtrée (gauche), DBO, COT, COD et MES (droite) au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 16 octobre 2015)

Sur les Figures 25, on observe une baisse globale des concentrations en DCO, COT, COD et MES au cours de la ZRV. Attention toutefois, il convient de relativiser par rapport aux temps de séjour non intégrés à cette représentation graphique : les effluents entrants ne correspondant pas à ceux du rejet en sortie de ZRV.

4.1.4 Charges et rendements (bilans 24h Irstea)

Les débits entrants et sortants des bassins étant peu différents, les calculs des rendements à partir des charges ou des concentrations sont équivalents. Ainsi, seuls les rendements sur charges sont présentés.

Lors des bilans 24h, les charges traitées sont calculées en considérant un temps de séjour moyen d'1 jour par bassin lors du suivi à débit Q1. A débit Q2, les bilans 24h ont été menés sur 9 jours d'affilée, permettant une meilleure prise en compte du temps de séjour plus long sur le B2 et la ZRV. Ce temps de séjour a été estimé grâce à des traçages à la fluorescéine (détaillés en partie 2.5.1) : environ 1 jour pour le B1 et 2 à 3 jours pour le B2. Ainsi, la charge traitée par chaque ouvrage au jour J est déterminée telle que :

- pour B1 : $Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) = Charge\ entrante\ au\ jour\ (J) - Charge\ sortante\ au\ jour\ (J+1)$
- pour B2 :
 1. si $Q < 950\ m^3/j$:
 $Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) = Charge\ entrante\ au\ jour\ (J) - Charge\ sortante\ au\ jour\ (J+2)$
 2. si $Q \geq 950\ m^3/j$:
 $Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) = Charge\ entrante\ au\ jour\ (J) - Charge\ sortante\ au\ jour\ (J+3)$
- pour la totalité de la ZRV, le temps de séjour considéré est identique à B2 étant données la variabilité des débits :
 1. si $Q < 950\ m^3/j$:
 $Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) = Charge\ entrante\ au\ jour\ (J) - Charge\ sortante\ au\ jour\ (J+2)$
 2. si $Q \geq 950\ m^3/j$:
 $Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) = Charge\ entrante\ au\ jour\ (J) - Charge\ sortante\ au\ jour\ (J+3)$

Les concentrations et charges issues de bilans 24h Irstea, sur la période étudiée de mars 2015 à février 2017 sont présentées dans le

Tableau 31, ainsi que les rendements. Pour chaque débit étudié, les rendements sont calculés de la manière suivante :

- Débit Q1 : réalisation de 2 bilans 24h sur 2 jours consécutifs
 - $Rendements\ sur\ B1 = Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) / Charge\ entrante\ au\ jour\ (J+1)$
 - $Rendement\ sur\ B2 = Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) / Charge\ entrante\ au\ jour\ (J+1)$
 - $Rendements\ ZRV = rendement\ B1 + (1 - rendement\ B1) \times rendement\ B2$

- Débit Q1 : réalisation de bilans 24h sur 9 jours consécutifs
 - $Rendements\ sur\ B1 = Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) / Charge\ entrante\ au\ jour\ (J+1)$
 - $Rendement\ sur\ B2 = Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) / Charge\ entrante\ au\ jour\ (J+2\ ou\ 3)$
 - $Rendements\ ZRV = Charge\ traitée\ au\ jour\ (J) / Charge\ entrante\ au\ jour\ (J+2\ ou\ 3)$

Tableau 31 : Concentrations, charges et rendements en matières carbonées (bilans 24h Irstea) - NQ : non quantifiable

		Concentrations (mg/L)				Charges entrantes (kg/j)				Charges traitées (kg/j)			Rendements (%) sur charges				
		Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	B1	B2	ZRV	B1	B2	ZRV		
DCO brute	Q1	10/03/2015	42	#	#	≤ 20	67			31	17	#	35	25	#	#	
		11/03/2015	28	30	30	≤ 20	49	50	50	31	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	245	50	50	≤ 20	337	66	66	25	178	40	311	53	60	81	
		16/10/2015	113	126	126	23	153	159	159	26	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	36	#	#	#	41	#	#	#	14	#	15	34	#	#	
	Q2	11/10/2016	30	28	28	#	30	27	17	#	9	-9	4	28	< 0	< 0	
		12/10/2016	28	≤ 20	≤ 20	#	32	22	13	#	-14	-7	12	< 0	NQ	< 0	
		13/10/2016	#	≤ 20	≤ 20	≤ 20	#	45	26	26	#	6	#	#	NQ	#	
		16/10/2016	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	26	24	20	20	-33	-3	3	NQ	NQ	NQ	
		17/10/2016	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	56	59	36	36	27	15	35	NQ	NQ	NQ	
DCO filtrée	Q1	10/03/2015	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	32	34	34	31	-2	2	1	NQ	NQ	NQ	
		11/03/2015	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	35	33	33	31	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	238	31	31	≤ 20	328	41	41	25	170	18	305	52	45	73	
		16/10/2015	104	125	125	≤ 20	141	158	158	23	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	25	#	#	#	28	#	#	#	7	#	2	26	#	#	
	Q2	11/10/2016	≤ 20	22	22	#	20	21	13	#	-1	-13	-6	NQ	< 0	NQ	
		12/10/2016	26	≤ 20	≤ 20	#	29	22	13	#	-17	-7	9	< 0	NQ	< 0	
		13/10/2016	#	≤ 20	≤ 20	≤ 20	#	45	26	26	#	6	#	#	NQ	#	
		16/10/2016	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	26	24	20	20	-33	#	#	NQ	#	#	
		17/10/2016	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	56	59	36	36	#	15	35	#	NQ	#	
DBO5	Q1	10/03/2015	8,6	20	20	#	14	34	34	#	4	#	#	28	#	#	
		11/03/2015	6,1	5,9	5,9	#	11	10	10	#	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	#	9,9	9,9	≤ 3	#	13	13	4	#	#	#	#	#	#	
		16/10/2015	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
	Q2	11/10/2016	≤ 3	≤ 3	≤ 3	#	#	#	#	#	0	-2	-1	NQ	NQ	NQ	
		12/10/2016	≤ 3	≤ 3	≤ 3	#	#	#	#	#	-3	#	#	NQ	#	#	
		13/10/2016	#	≤ 3	≤ 3	≤ 3	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		16/10/2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
		17/10/2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
COT	Q1	10/03/2015	17,8	43,9	43,9	7,0	28	74	74	11	10	64	18	34	86	91	
		11/03/2015	12,0	11,1	11,1	6,4	21	19	19	10	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	70,6	13,1	13,1	8,3	97	17	17	10	50	8	88	51	49	75	
		16/10/2015	38,8	37,7	37,7	7,8	52	48	48	9	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	10,9	#	#	#	12	#	#	#	1	#	1	12	#	#	
	Q2	11/10/2016	10,0	11,4	11,4	#	10	11	7	#	-1	-5	-1	< 0	< 0	< 0	
		12/10/2016	10,8	10,2	10,2	#	12	11	6	#	-12	-2	4	< 0	< 0	< 0	
		13/10/2016	#	10,4	10,4	8,8	#	24	14	11	#	5	#	#	40	#	
		16/10/2016	7,7	8,9	8,9	8,3	10	11	9	8	-13	0	2	< 0	3	< 0	
		17/10/2016	8,1	7,7	7,7	8,2	22	23	14	15	11	6	14	50	43	72	
COD	Q1	10/03/2015	6,6	7,3	7,3	5,5	10	12	12	9	0	5	3	< 0	38	37	
		11/03/2015	6,3	6,4	6,4	4,9	11	11	11	8	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	68,1	11,7	11,7	8,5	94	16	16	10	47	7	85	50	44	72	
		16/10/2015	37,0	37,4	37,4	7,6	50	47	47	9	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	9,95	#	#	#	11	#	#	#	2	#	1	19	#	#	
	Q2	11/10/2016	9,2	9,6	9,6	#	9	9	6	#	-1	-5	-1	< 0	< 0	< 0	
		12/10/2016	9,6	9,7	9,7	#	11	10	6	#	-11	-2	3	< 0	< 0	< 0	
		13/10/2016	#	9,6	9,6	8,1	#	22	13	11	#	5	#	#	37	#	
		16/10/2016	6,7	7,8	7,8	8,1	9	9	8	8	-12	0	1	< 0	< 0	< 0	
		17/10/2016	6,4	7,0	7,0	7,3	18	21	13	13	8	5	10	43	39	65	
MES	Q1	10/03/2015	25	#	#	3	39,7			4,5	-3,8	#	36,6	< 0	#	#	
		11/03/2015	16	26	26	≤ 2	27,8	43,4	43,4	3,1	#	#	#	#	#	#	
		15/10/2015	6	≤ 2	≤ 2	≤ 2	8,7	2,7	2,7	2,5	6,2	0,4	6,4	71	NQ	75	
		16/10/2015	7	≤ 2	≤ 2	≤ 2	8,9	2,5	2,5	2,3	#	#	#	#	#	#	
		10/10/2016	2,6	#	#	#	3	#	#	#	1	#	0	35	#	#	
	Q2	11/10/2016	2	≤ 2	≤ 2	#	2,3	1,9	1,2	#	-0,8	-1,4	-0,3	< 0	NQ	< 0	
		12/10/2016	5	3	3	#	5,6	3,1	1,8	#	1,0	-0,2	3,6	19	< 0	12	
		13/10/2016	0	≤ 2	≤ 2	≤ 2	#	4,5	2,6	2,6	#	-4,8	0,6	-2,0	#	NQ	#
		16/10/2016	3	4	4	≤ 2	4,5	#	#	2,0	-5,3	1,7	2,2	< 0	42	< 0	
		17/10/2016	5	3	3	≤ 2	14,0	#	#	3,6	10,2	3,9	11,9	73	65	91	
18/10/2016	4	3	3	≤ 2	5,2	#	#	2,3	#	#	#	#	#	#			
19/10/2016	#	#	#	≤ 2	#	#	#	2,1	#	#	#	#	#	#			

Du fait des très faibles concentrations, les rendements ne sont souvent pas quantifiables, lorsque les analyses sont en-deçà des limites de quantification.

Lorsque les calculs sont possibles, les charges traitées sont, soit positives avec des valeurs importantes de plusieurs dizaines de kg, soit négatives mais dans des valeurs restant toujours à l'échelle de l'unité. Avec une telle variabilité, il est difficile de conclure quant au réel impact de la ZRV.

4.1.5 Le carbone organique (COT, COD)

Concernant les paramètres COT et COD, les évolutions des concentrations au sein du B1 sont très contrastées (

Tableau 31).

Les charges traitées en COD sont généralement positives. Il semble possible d'en déduire que la ZRV ne produit pas de matières organiques supplémentaires dans les eaux rejetées au milieu récepteur. Cela est cohérent avec les mesures ponctuelles (Figure 22) pour lesquelles les concentrations respectives en COT et COD sont quasi-systématiquement < 10 mg/L en sortie ZRV.

Le bilan de charges entrantes et traitées en COT est présenté en Figure 26.

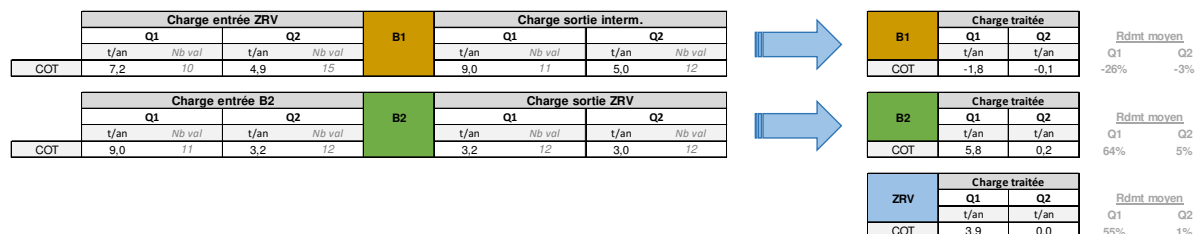


Figure 26 : Bilan de charges du COT (mars 2015 à février 2017)

Le bilan annuel moyen fait état d'environ 5 à 7 tonnes de carbone organique entrant pour 3 tonnes rejetées après passage au sein de la ZRV pendant la 1^{ère} période à débit Q1. La moitié de la quantité de carbone total déversé dans la ZRV y serait donc retenue par l'ouvrage sur les périodes étudiées.

A débit Q2, avec des charges plus faibles introduites en ZRV, le bassin B1 ne contribue plus à la rétention de ces charges. Il est en est de même pour le bassin 2. Serait-ce un effet du vieillissement des ouvrages avec un taux de remplissage en boues qui commence à avoir un impact visible sur certains paramètres ?

4.2 L'azote dans le compartiment eau

4.2.1 Qualité de l'eau introduite dans la ZRV et charges appliquées

Rappel sur les seuils réglementaires – Les seuils limites de concentrations des paramètres azotés en sortie de la station d'épuration de Marguerittes sont mentionnés dans l'arrêté préfectoral n° 2007-11-14 du 11 janvier 2007 et reportés dans le Tableau 32 suivant :

Tableau 32 : Seuils en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètres azotés)

Paramètres		Concentrations maximales (mg/L)	Conditions
réglementaires	hors réglementation		
N-NH ₄ ⁺⁺		2	Conformité sur résultats moyens journaliers
NGL		10	Conformité sur moyenne annuelle des résultats
	NK *	4,7	Hors conformité
	N-NO ₃ ⁻ *	5,3	Hors conformité

* concentrations admissibles maximales calculées par Irstea à partir des données d'analyses ; valeurs non mentionnées dans l'arrêté préfectoral n° 2007-11-14 du 11 janvier 2007.

Ces fortes exigences sur les paramètres N-NH₄⁺ et NGL ne sont pas courantes et soulignent la fragilité du milieu récepteur. La concentration moyenne en NGL calculée sur les valeurs Irstea (bilans 24h) s'établit à 9,2 mg/L : l'ouvrage respecte donc le seuil de qualité (10 mg/L) fixé pour ce paramètre.

Les données Irstea disponibles (bilans 24h et prélèvements ponctuels) permettent de calculer un ratio N-NH₄⁺/NK moyen de 0,41. C'est ainsi qu'à partir du seuil réglementaire en N-NH₄⁺, il est possible de reconstituer un seuil admissible correspondant de NK à 4,7 mg/L. De même, considérant que NGL =

NK + N-NO₃⁻ (N-NO₂⁻ étant négligeable au vu des très faibles concentrations mesurées), il a été possible de reconstituer un seuil en nitrates de 5,3 mg N-NO₃⁻/L (à partir d'une concentration en NGL imposée à la journée et non pas d'une moyenne imposée à l'année).

En entrée de la ZRV, l'ensemble des données disponibles (prélèvements ponctuels et bilans 24h) est présenté dans le Tableau 33. Sur la période concernée, les dépassements sur l'ammonium sont peu nombreux.

Tableau 33 : Concentrations et charges moyennes en entrée de ZRV en paramètres azotés (mars 2015 à février 2017)

		Concentration entrée ZRV (mg/L)					Charge entrante sur la ZRV (kg/j)					
		Moy	ET	Min	Max	Nb val	Moy	ET	Min	Max	Nb val	
NK brut	Q1	<i>Ponctuels</i>	3,4	3,5	1,5	13,0	10	4,4	4,3	1,5	15,5	10
		<i>Bilans 24h</i>	3,4	1,8	1,3	5,6	4	5,3	3,2	1,8	8,9	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	2,2	0,8	1,1	3,2	8	2,8	1,2	1,4	4,7	8
		<i>Bilans 24h</i>	2,7	1,4	1,7	5,4	6	3,7	1,9	1,8	6,1	6
NK filtré	Q1	<i>Ponctuels</i>	1,1	0,1	1,0	1,2	4	1,4	0,2	1,2	1,6	4
		<i>Bilans 24h</i>	2,4	1,2	1,2	4,1	4	3,7	2,1	1,7	6,4	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
		<i>Bilans 24h</i>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
N-NH4	Q1	<i>Ponctuels</i>	1,1	2,4	0,1	9,5	20	1,4	2,9	0,1	11,3	20
		<i>Bilans 24h</i>	1,4	1,5	0,1	3,5	4	2,2	2,5	0,1	5,5	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	1,0	2,2	0,0	10,2	22	1,4	3,0	0,0	13,2	22
		<i>Bilans 24h</i>	1,3	1,4	0,4	4,0	6	1,7	1,5	0,4	4,5	6
N-NO2	Q1	<i>Ponctuels</i>	0,03	0,03	0,02	0,10	10	0,04	0,02	0,02	0,10	10
		<i>Bilans 24h</i>	0,05	0,02	0,02	0,07	4	0,07	0,03	0,03	0,10	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	0,10	0,07	0,02	0,21	7	0,13	0,10	0,02	0,31	7
		<i>Bilans 24h</i>	0,22	0,09	0,12	0,39	6	0,31	0,15	0,16	0,53	6
N-NO3 app.	Q1	<i>Ponctuels</i>	2,8	1,9	0,5	6,6	20	3,8	2,5	0,5	8,3	20
		<i>Bilans 24h</i>	2,0	1,3	0,5	3,5	4	3,0	1,8	0,6	4,8	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	7,5	6,6	0,5	18,1	22	9,1	7,8	0,6	24,1	22
		<i>Bilans 24h</i>	9,1	3,8	5,2	14,9	6	12,3	4,1	7,7	17,6	6
N-NO3 réel	Q1	<i>Ponctuels</i>	3,4	2,1	0,5	8,5	20	4,5	2,6	0,6	10,2	20
		<i>Bilans 24h</i>	2,5	1,6	0,8	4,3	4	3,8	2,5	1,0	6,7	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	7,6	6,6	0,5	18,1	22	9,1	7,8	0,6	24,1	22
		<i>Bilans 24h</i>	9,7	5,4	5,2	18,3	5	13,4	5,7	7,7	20,5	5
NGL	Q1	<i>Ponctuels</i>	6,7	3,2	3,0	13,4	10	8,6	4,4	2,9	16,0	10
		<i>Bilans 24h</i>	5,3	2,0	3,1	7,9	4	8,2	3,7	4,1	12,5	4
	Q2	<i>Ponctuels</i>	6,5	4,8	1,6	17,5	8	7,9	5,4	2,0	19,4	8
		<i>Bilans 24h</i>	11,8	4,9	6,9	20,3	6	16,0	5,8	10,2	23,7	6

En entrée de ZRV, les charges admises varient d'environ 1 à 15 kg/j en NK, 0,1 à 13 kg/j en N-NH₄⁺, 0,5 à 24 kg/j en N-NO₃⁻ et 2 à 23 kg/j en NGL.

Tableau 34 : Comparaison des charges moyennes appliquées en NK et NGL sur la ZRV de Marguerittes par rapport à du lagunage naturel (traitement des eaux usées brutes)

	Charges journalières surfaciques appliquées (kg/ha/j)					
	En lagunage naturel *	Sur l'ensemble de la ZRV de Marguerittes		Sur la lagune de tête*	Sur B1 à Marguerittes	
		Q1	Q2		Q1	Q2
NK	12	5 [2 à 11]	3 [1 à 5]	22	14 [4 à 33]	9 [4 à 15]
NGL	12	8 [3 à 13]	11 [6 à 20]	22	24 [10 à 39]	33 [17 à 59]

* Selon la référence de 50 gDBO₅/j pour une charge nominale de lagunage, et en considérant une surface de 11 m²/hab au total pour un lagunage composé de 3 lagunes et de 6 m²/hab pour une lagune primaire (Racault Y. et al, 1997).

En comparaison avec la filière de traitement des eaux usées par lagunage (Tableau 34), les charges journalières surfaciques moyennes appliquées semblent 2 à 3 fois inférieures à la charge appliquée en

NK en lagunage naturel (alimentée en eau usée brute) selon que l'on raisonne sur le bassin de tête ou sur l'ouvrage complet.

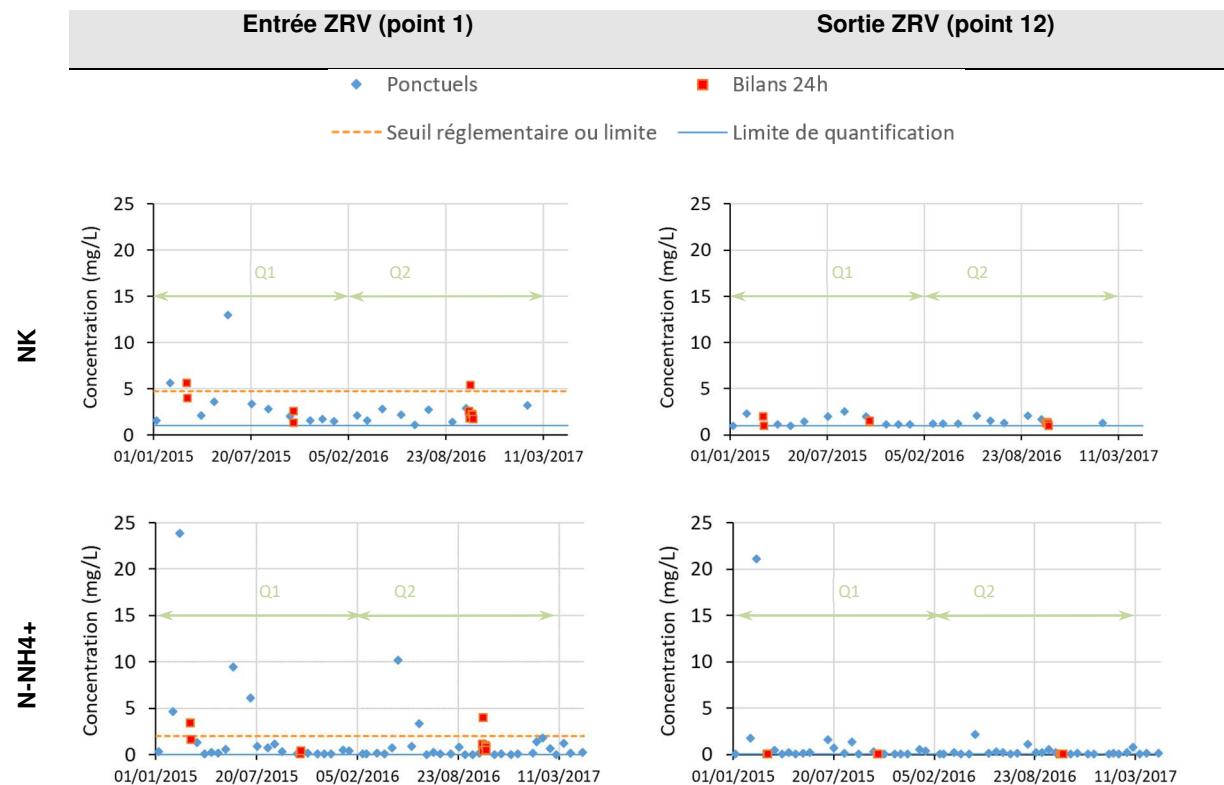
Du fait de l'apport en nitrates, le bassin B1 est chargé à 100 % vis-à-vis de l'azote global (alors que les nitrates sont généralement très peu présents dans une eau usée brute).

Les apports en N, comparés entre les 2 situations Q1 et Q2, sont moins contrastés que pour les fractions carbonées. Les apports en $N-NO_3^-$ sont plus importants en deuxième période (Q2) et génèrent ainsi des charges en NGL à traiter plus fortes qu'à débit Q1.

4.2.2 Evolution des concentrations entrée-sortie de la ZRV au cours de la période d'étude

Sont exposées dans la Figure 27 ci-après les données issues de prélèvements ponctuels et bilans 24h Irstea sur la période de janvier 2015 à avril 2017, de la sortie de la station d'épuration (entrée ZRV) et de la sortie de la ZRV.

$N-NO_3^-$ apparent est distingué de $N-NO_3^-$ réel. Les nitrates apparents sont les concentrations mesurées par analyse directement dans les prélèvements en entrée et sortie des bassins. Or, il se produit parfois de la nitrification au sein des bassins, transformant le $N-NH_4^+$ en $N-NO_3^-$. Ces $N-NO_3^-$ produits par nitrification au sein du bassin sont donc inclus dans la valeur de concentration d'entrée du bassin pour les calculs de charges traitées. Ainsi, les données de $N-NO_3^-$ réelles incluent le potentiel de nitrification du bassin étudié, qui dépend de la nitrification mesurée dans le bassin.



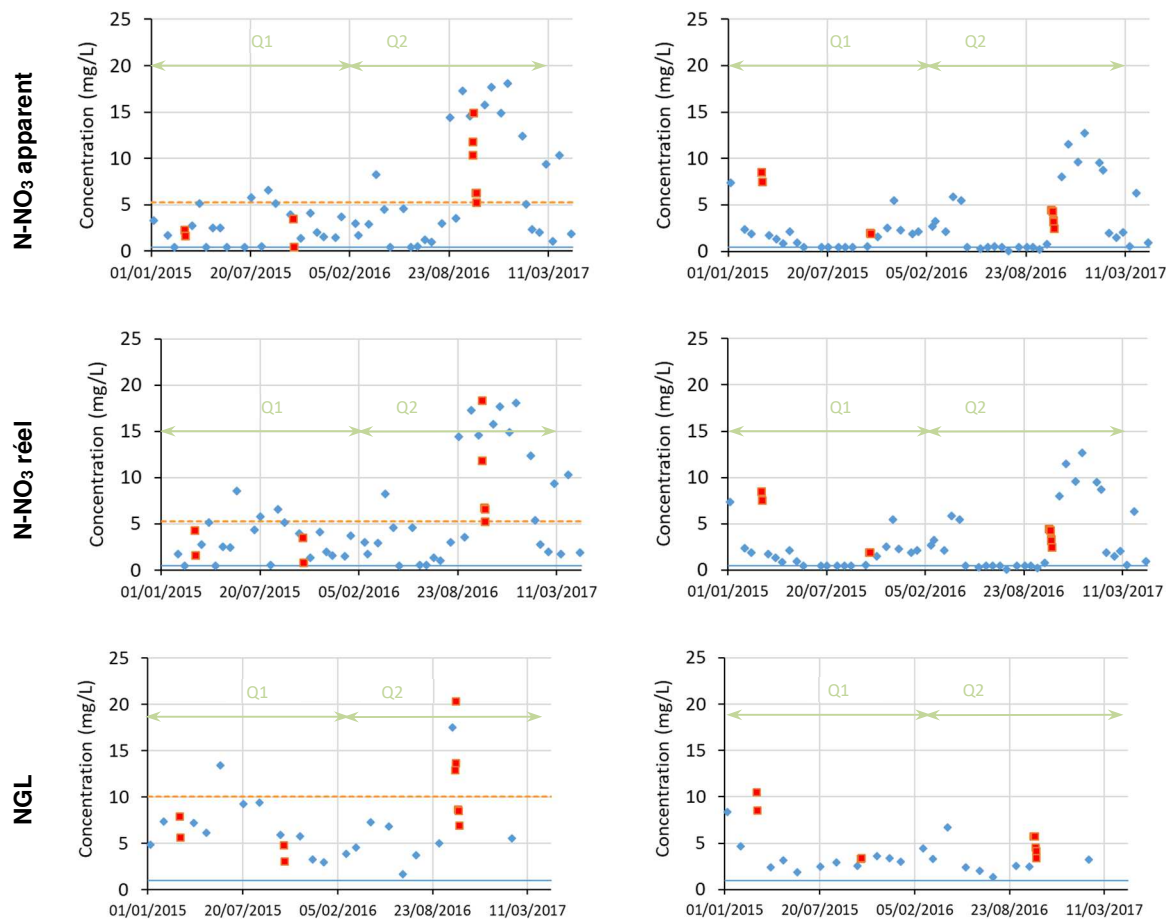


Figure 27 : Évolution des concentrations en paramètres azotés au cours du temps sur la ZRV (données issues des prélèvements Irstea)

La qualité du rejet de la ZRV est d'une très grande stabilité avec des concentrations très faibles sur les paramètres N-NH_4^+ et NK, les concentrations en nitrates sont davantage variables, sans dépasser 15 mg/L. Les concentrations mesurées en NGL ont dépassé une seule fois le seuil de 10mg/L pendant 2,5 années de suivi.

Les concentrations en N-NH_4^+ et N-NO_3^- sont également enregistrées en continu sur un pas de temps de 5 minutes. Ces données sont traitées selon un protocole détaillé qui a permis notamment de corriger la dérive, d'appliquer un étalonnage approprié et d'expliquer les choix de correction des valeurs de LQ. Ce protocole est décrit dans le document *Protocole d'entretien et d'exploitation des sondes électrochimiques - Application aux paramètres azotés dans la ZRV de type « bassin » à Marguerittes (30), Rapport Irstea, décembre 2015*.

Il est cependant important de signaler que la mesure par sondes *in-situ* implique des limites de quantification (LQ) et incertitudes de mesures plus importantes qu'en analyses de laboratoire, telles que reportées dans le Tableau 35.

Tableau 35 : Limites de quantification et incertitudes de mesures des analyses et mesures *in-situ* en N-NH_4^+ et N-NO_3^- (sondes)

		N-NH_4^+	N-NO_3^-
Analyse de laboratoire	LQ	0,02 mg/L	0,45 mg/L
	incertitude de mesure*	15 %	5 %
Analyse par sonde <i>in-situ</i> **	LQ	1 mg/L	0,5 mg/L
	incertitude constructeur	> 20 %	> 20 %

* pour une gamme de concentrations < 5 mg/L de N-NH_4^+ et N-NO_3^- (source : essais inter-laboratoires AGLAE)

**source : *Protocole d'entretien et d'exploitation des sondes électrochimiques - Application aux paramètres azotés dans la ZRV de type « bassin » à Marguerittes (30), rapport Irstea, décembre 2015*.

Ainsi, toutes les données acquises par les sondes inférieures à la LQ ont été corrigées de la façon suivante :

- pour $[N-NH_4^+] < LQ$ alors $[N-NH_4^+] = LQ/2$ soit 0,5 mg/L ;
- pour $[N-NO_3^-] < LQ$ alors $[N-NO_3^-] = LQ$ soit 0,5 mg/L.

A l'aide de ces données de concentrations, des données de débits correspondant ont été recalculées en concentrations journalières moyennes « type bilan 24h », c'est-à-dire proportionnelles au débit.

L'ensemble de ces résultats est présenté en Figure 28.

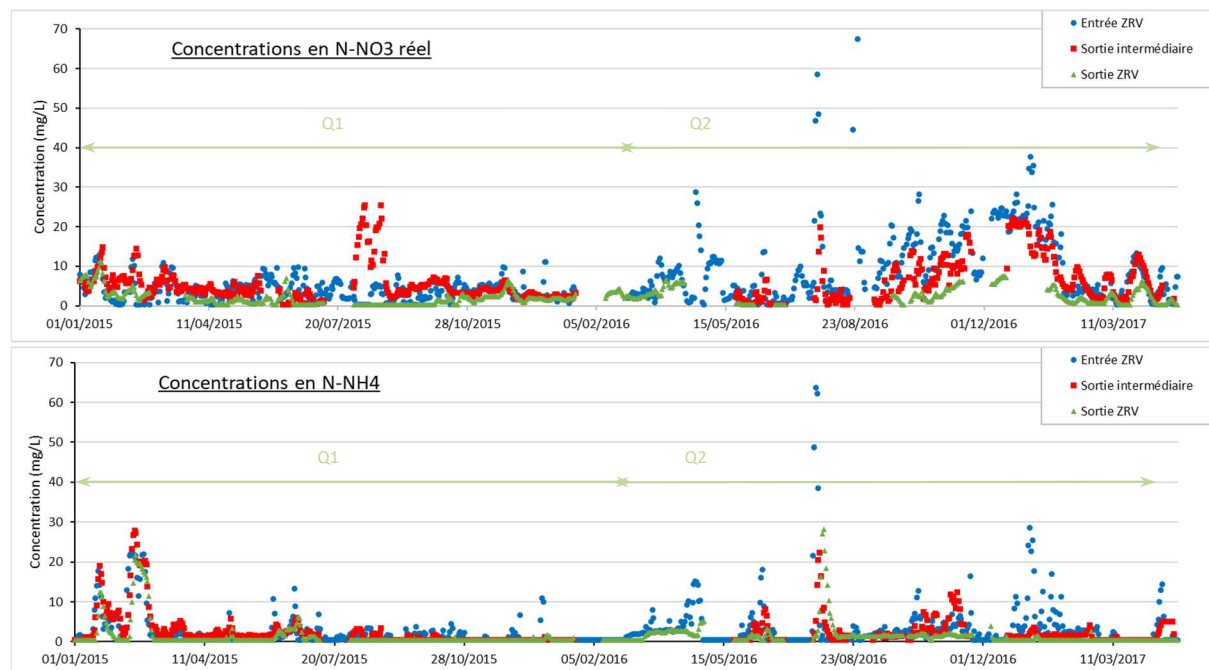


Figure 28 : Évolution des concentrations en $N-NH_4^+$ (haut) et $N-NO_3^-$ réelles (bas) au cours du temps sur la ZRV (données en continu issues des sondes)

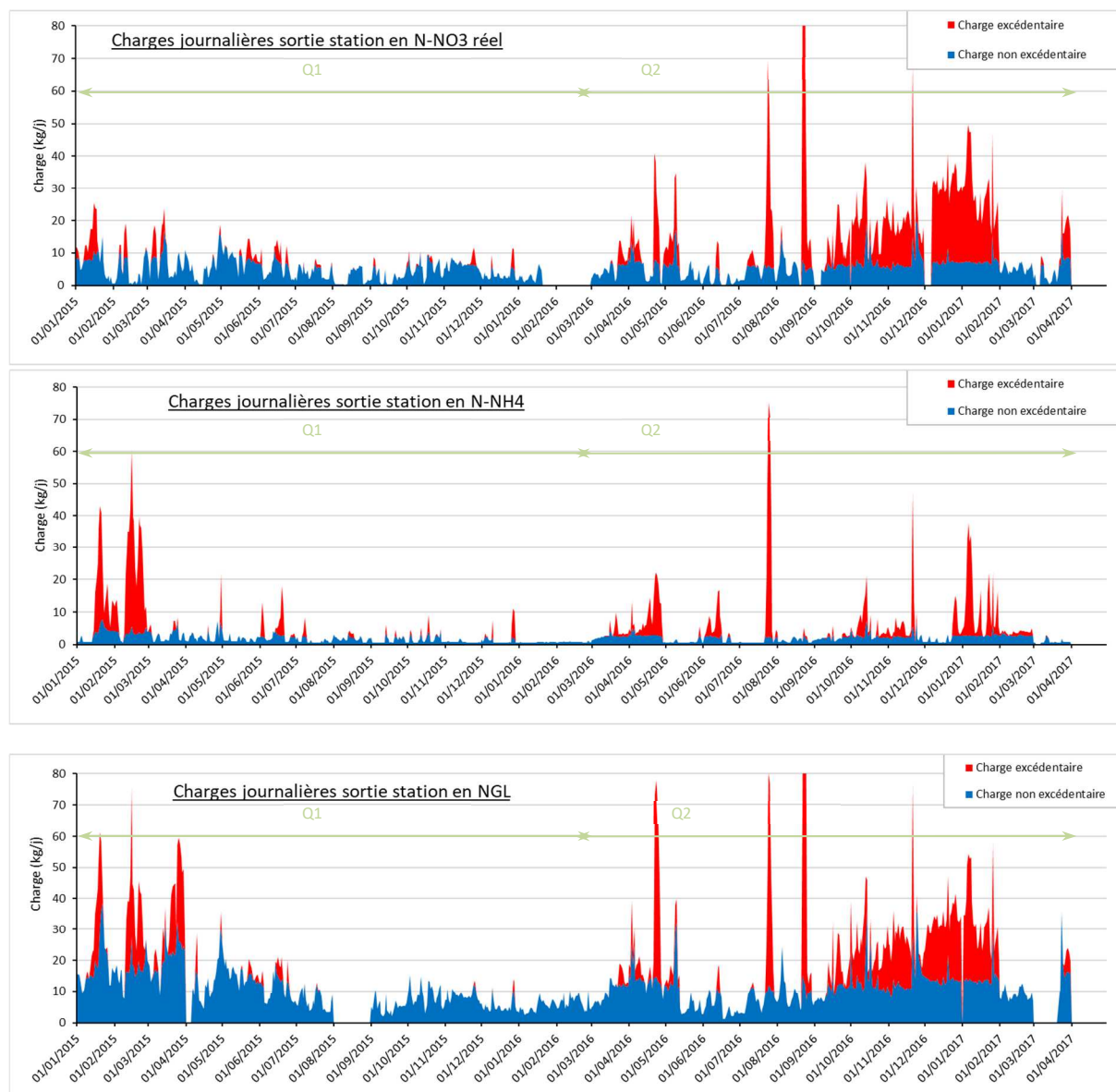
On peut donc constater l'impact de dysfonctionnement de la station :

- de janvier à début mars 2015, avec émission de charges dites excédentaires, en ammonium majoritairement (pics de concentrations dépassant 15 voire 20 $mgN-NH_4^+/L$), envoyées directement à la ZRV ;
- de septembre 2016 à janvier 2017 avec des pics de concentrations en nitrates de 10 à 25 $mgN-NO_3^-/L$.
- pendant l'été 2016, avec des pics de concentrations tant en ammonium qu'en nitrates

On note également un pic de concentrations en $N-NO_3^-$ en août 2015 en sortie de B1 (« sortie intermédiaire »). En absence d'enregistrement le mois précédant sur l'évènement en ce point-là, les explications restent au stade d'hypothèse : des concentrations résiduelles en ammonium $N-NH_4^+$ se seraient éventuellement minéralisées progressivement en générant des formes nitrates $N-NO_3^-$.

Les données enregistrées en continu par les sondes $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ ont ainsi permis d'évaluer les charges dites « excédentaires », rejetées en sortie de station d'épuration (Figure 29). Ces dernières sont calculées sur la base de l'arrêté préfectoral de la station de Marguerittes (seuils limites de concentrations du Tableau 32). Attention, en termes de conformité, il existe une exigence de concentrations journalières uniquement sur le paramètre $N-NH_4^+$; pour l'azote global NGL, l'exigence porte sur une moyenne annuelle et la conformité est bien obtenue. L'exercice de calculs de charges

excédentaires a pourtant été conduit à l'échelle de la journée sur tous les paramètres afin de mieux cerner les intrants des formes azotées.



* Vis-à-vis du seuil réglementaire de rejet au milieu naturel, le NGL est calculé sur la base d'une moyenne annuelle

Figure 29 : Représentation des charges journalières excédentaires en azote en sortie de station et envoyées vers la ZRV (données issues des sondes)

Le nombre de jours de dépassement des seuils de concentrations classiquement envoyées vers la ZRV est présenté (

Tableau 36) pour 2 situations d'objectifs de qualité différents :

- ceux de la station de Marguerittes,
- ceux généralement utilisés en sortie de traitement par boues activées en France.

Attention, il s'agit d'un seuil réglementaire uniquement pour le paramètre N-NH_4^+ , les concentrations en N-NO_3^- et NGL sont fournies pour la compréhension globale de l'évolution des formes azotées.

Tableau 36 : Nombre de jours de dépassement des charges en sortie de la station d'épuration de Marguerittes pour 2 types de seuils de rejet réglementaires : seuils actuels et parc épuratoire français moyen

Nombre de jours de dépassement des charges azotées en sortie de station de traitement des eaux usées de Marguerittes													
Débit Q1	Pour les seuils actuels (mg/L)			Pour les seuils moyens du parc épuratoire français (mg/L)			Débit Q2	Pour les seuils actuels (mg/L)			Pour les seuils moyens du parc épuratoire français (mg/L)		
	N-NH ₄ = 2* N-NO ₃ = 5,3 NGL = 10			N-NH ₄ = 5* N-NO ₃ = 8,2 NGL = 20				N-NH ₄ = 2* N-NO ₃ = 5,3 NGL = 10			N-NH ₄ = 5* N-NO ₃ = 8,2 NGL = 20		
Date	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	Date	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL
mars-15	17	15	16	0	6	7	mars-16	0	11	0	3	3	0
avr.-15	23	8	17	1	0	5	avr.-16	0	29	0	14	7	5
mai-15	8	10	23	0	2	0	mai-16	19	10	10	0	12	0
juin-15	4	2	8	6	2	0	juin-16	28	17	22	7	0	0
juil.-15	0	15	9	1	0	0	juil.-16	1	12	12	5	5	6
août-15	14	11	12	0	0	31	août-16	16	3	4	0	10	4
sept.-15	3	8	3	0	0	0	sept.-16	8	16	10	0	10	3
oct.-15	7	1	31	0	0	0	oct.-16	5	13	8	9	24	12
nov.-15	6	2	0	0	2	0	nov.-16	15	27	19	6	21	20
déc.-15	10	11	0	4	0	0	déc.-16	26	31	31	3	31	29
janv.-16	0	11	2	0	0	0	janv.-17	23	30	29	17	12	19
févr.-16	6	4	3	0	0	0	févr.-17	8	31	31	0	0	0
Total Q1	98	98	124	12	12	43	Total Q2	149	230	176	64	135	98

* Attention seule valeur réglementaire ; le seuil appliqué au NGL étant généralement moyenné à l'année.

Pour l'ammonium N-NH₄⁺, les 98 et 149 jours de dépassements (

Tableau 36) à débits Q1 et Q2 respectivement (soit 27 et 41 % du temps) sont identifiés en 2 périodes : en janvier-février 2015 puis en mai 2016 à janvier 2017. Les seuils de qualité imposés en sortie de la station sont particulièrement bas par rapport à la majorité des stations d'épuration du parc français. C'est pourquoi le nombre de jours de dépassements des seuils serait nettement plus faible (12 et 64 jours ou 3 et 18 % du temps) si l'on appliquait le seuil de N-NH₄⁺ généralement constaté en France.

Les autres paramètres n'ont pas d'obligation réglementaire. Notons pourtant plusieurs périodes qui, en l'absence de dépassement des concentrations en N-NH₄⁺, montrent plusieurs dépassements journaliers pour les nitrates N-NO₃⁻ par rapport à la valeur de cette moyenne annuelle et impactant l'azote global NGL.

Le nombre de jours de dépassement à débit Q2 est bien plus important qu'à débit Q1 (par exemple 230 j pour N-NO₃⁻ contre 98 j). En conséquence, malgré des débits plus faibles, les charges appliquées restent équivalentes entre les 2 situations (Figure 31).

4.2.3 Evolution des charges en N-NH₄⁺ et estimation des rendements de nitrification

Les charges journalières présentées dans cette partie sont issues des mesures de débits et de concentrations (sondes de mesures *in-situ*) en entrée de ZRV (point 1), sortie de B1 (point 3) et sortie ZRV (point 12).

Les charges traitées sont calculées selon le protocole détaillé dans la partie 4.1.4. de ce même chapitre.

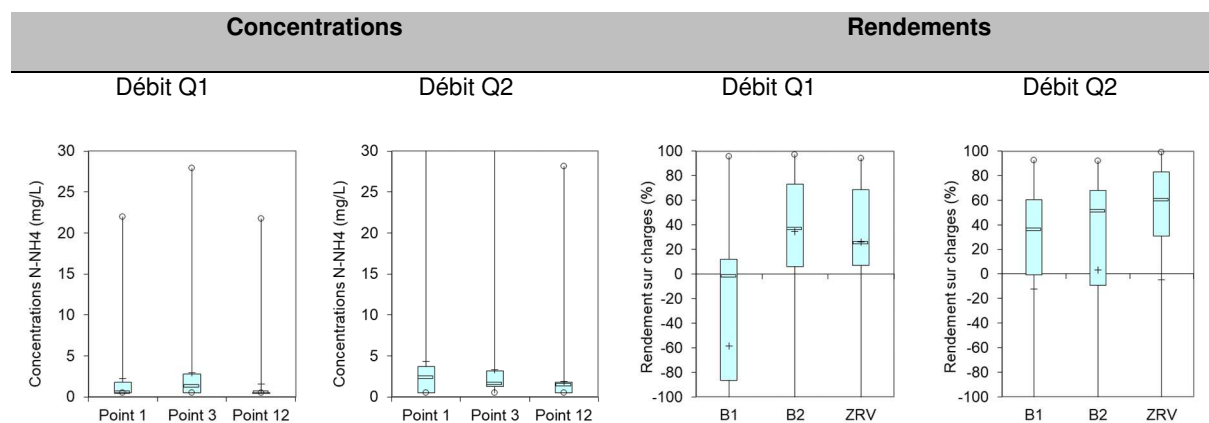


Figure 30 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en N-NH₄⁺ (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes

NOTA : Les **boîtes à moustaches** sont un type de représentation graphique de la distribution d'une variable. Pour cet affichage simplifié, on peut observer :

- les 1^{er} et 3^{ème} quartiles (bordures inférieures et supérieures de la boîte rectangulaire) : 50 % des valeurs sont contenues dans cette boîte rectangulaire ;
- la médiane (trait horizontal dans la boîte rectangulaire) : 50 % des valeurs sont au-dessus et au-dessous de ce trait ;
- la moyenne (marque « + » dans la boîte rectangulaire), parfois confondue avec la médiane ;
- les minimum et maximum (marques extrêmes « o »).

La Figure 31 souligne combien les concentrations en N-NH_4^+ sont faibles et ne dépassent pas 4 mg/L (Figure 30, gauche), même à l'aval du bassin 1, et ce dans 75 % des cas. Sur le bassin B1, les performances en N-NH_4^+ sont considérées comme nulles et il est même observé un relargage en ammonium qui est loin d'être négligeable. Par contre, sur le B2, 50 % des rendements sont compris entre 0 et 70 % (Figure 30, droite). Il apparaît que les performances sont quasiment systématiquement positives sur la ZRV (au moins 75 % des valeurs de rendements).

Les représentations graphiques (Figure 31) de la relation : « Charges traitées = f(Charges entrantes) » sont réalisées. A débit Q2, en absence de données précises sur les débits introduits dans le bassin B2, les données sont moins nombreuses. De plus, il y a des données manquantes pour le paramètre N-NH_4^+ .

A titre de comparaison, pour un débit nominal de temps sec de $1224 \text{ m}^3/\text{j}$ et une concentration maximale de sortie de station de traitement des eaux usées de $2 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{L}$ (seuil limite), la charge entrante « nominale maximale » sur la ZRV ne serait que de $2.4 \text{ kgN-NH}_4^+/\text{j}$.

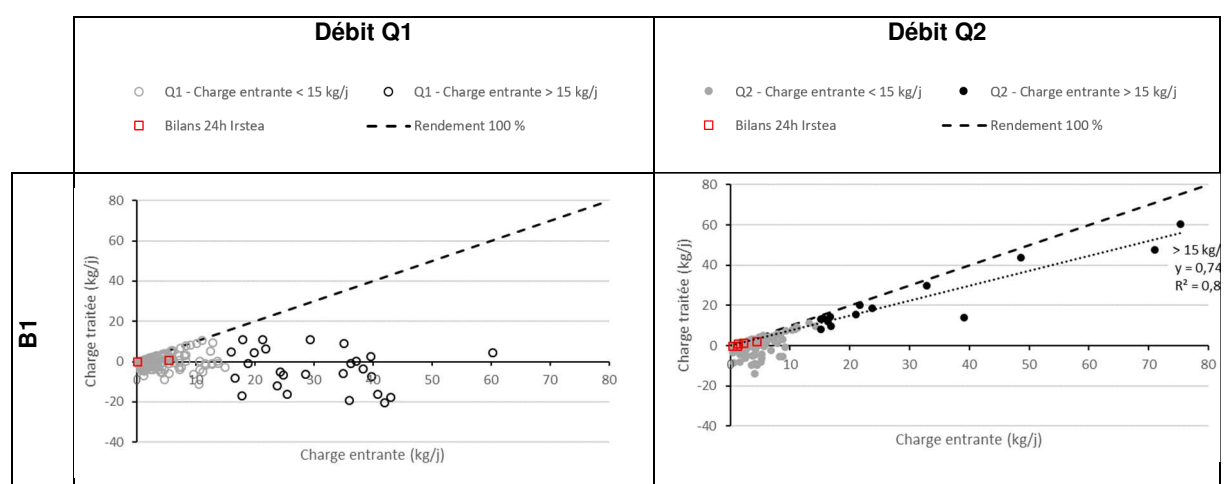
Le choix de scinder les données en 2 parties en deçà et en dessus de $15 \text{ kgN-NH}_4^+/\text{j}$ est basé sur une observation visuelle de l'ensemble des données. L'impact de la température de l'eau a également été recherché, mais il n'est apparu aucun lien entre le rendement en N-NH_4^+ et la température de l'eau (résultats non présentés dans ce rapport).

Une distinction a pu être établie en fonction de la charge entrante journalière et donc du taux de charge surfacique appliquée. Lorsqu'il est représenté, le coefficient directeur de la droite de régression linéaire passant par l'origine fournit le rendement moyen. Attention, les droites de régression tracées le sont pour un seul domaine : à Q1, en deçà de $15 \text{ kgN-NH}_4^+/\text{j}$ et à Q2, au-delà de $15 \text{ kgN-NH}_4^+/\text{j}$.

Dans le bassin 1 et à Q1, la variabilité est trop forte pour élaborer une corrélation. On pourra retenir 2 hypothèses quant au traitement de l'ammonium sur le B1 :

- ammonification de la fraction organique contenue dans l'eau et/ou les dépôts,
- nitrification de la fraction minérale dissoute

Par contre, ces deux processus se compensent ; c'est pourquoi la concentration en N-NH_4^+ reste plus ou moins stable au sein de ce bassin.



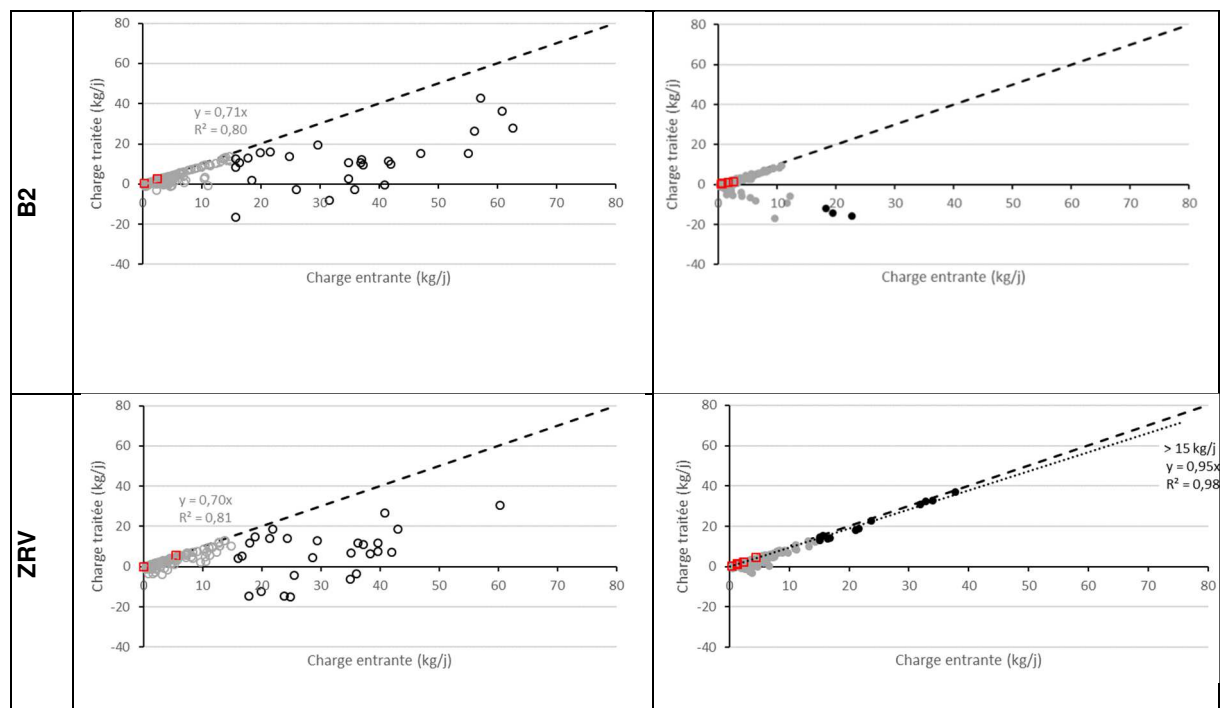


Figure 31 : Charges en N-N-NH₄⁺ (données sondes) de janvier 2015 à avril 2017

La nitrification dans le bassin 2 conduit à une réduction de l'ammonium en moyenne de 70 % dès lors que la charge entrante journalière reste inférieure à 15 kgN-N-NH₄⁺/j. La charge surfacique appliquée journalière correspondante à ce seuil est de 2,1 gN-N-NH₄⁺/m².

Globalement au sein de la ZRV, se dégage une tendance favorable à la réduction de l'ion ammonium. La situation est très favorable pour des concentrations d'entrée faibles (<2 mgN-NH₄⁺/L). Pour la totalité de la ZRV, le rendement d'élimination en N-NH₄⁺ est proche de 70 % lorsque la charge entrante reste inférieure à 15 kgN-NH₄⁺/j.

Dès lors que la charge entrante est supérieure à 15 kgN-NH₄⁺/j, il semble globalement que l'on observe une baisse significative des performances à débit Q1. Pour un débit nominal de temps sec de 1224 m³/j, cette charge correspondrait à une concentration de 12 mg/L en N-NH₄⁺. A débit Q2, le peu de données disponibles ne permet pas de conclure quant au fonctionnement du B2 sur cette période, même si une corrélation existe et montrerait un rendement de l'ordre de 70%.

Dans le bassin 2, les réductions deviennent très aléatoires, étant parfois négatives, et s'établissent en moyenne à 30 % à débit Q1.

En période Q2, le rendement semble être d'une très grande stabilité, indépendant des charges appliquées ; ce résultat surprend, les temps de séjour sont trop semblables pour expliquer cette évolution positive. Après 3 années de fonctionnement, la ZRV aurait-elle trouvé un équilibre intégrant des apports de boues modérés et un entretien régulier des végétaux flottants envahissants ?

Les deux situations Q1 et Q2 montrent des résultats contrastés que l'on n'explique pas précisément.

Globalement, toutes charges appliquées confondues, le rendement moyen en N-NH₄⁺ de la ZRV apparaît généralement positif. Toutefois, la variabilité des rendements est extrêmement importante (les quartiles 25 et 75 % sont respectivement de 7 et 68 % à débit Q1 et 32 à 82 % à débit Q2) et ne permet pas de statuer sur une éventuelle valeur de rendement (Figure 30).

Si l'on s'attarde sur le nombre de jours par mois pour lesquels un rendement en N-NH₄⁺ est significatif (supérieur à 50 %), on constate en effet que la grande majorité du traitement a lieu sur le B2 et non sur le B1 (Figure 32).

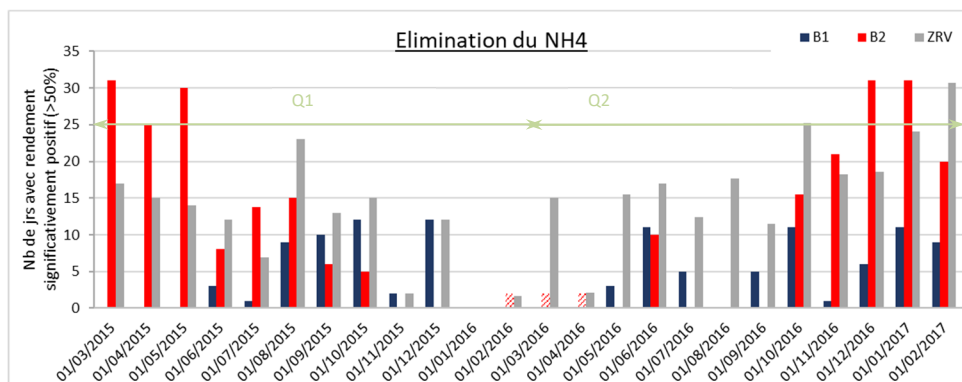


Figure 32 : Nombre de jours par mois avec rendement en N-NH₄⁺ > 50 % (données sondes)

Lors des dysfonctionnements de la station de traitement des eaux usées en janvier et février 2015 (relargages de N-NH₄⁺ en quantités importantes vis-à-vis du seuil réglementaire de rejet au milieu naturel), la charge traitée en N-NH₄⁺ lors de ces 2 épisodes est nettement plus importante sur le B2 que sur le B1 comme illustré dans le Tableau 37. Ce type de calcul réalisé sur une période longue lisse les données individuelles et fournit un résultat plus global. Les différentes méthodologies d'analyse sur des pas de temps différents sont complémentaires.

Tableau 37 : Charges traitées et rendements en N-NH₄⁺ lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier et février 2015)

	Charges cumulées en janvier sur la période du 13/01/2015 au 08/02/2015			Charges cumulées en février sur la période du 08/02/2015 au 07/03/2015		
	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %
B1	362	469	-30	576	667	-16
B2	469	215	54	667	452	32
ZRV	362	215	41	576	452	21

En cas de dysfonctionnement de la station entraînant un relargage de N-NH₄⁺ vers la ZRV, cette dernière semble apporter un traitement complémentaire du N-NH₄⁺ et réduire au moins de 20 % la charge rejetée au milieu récepteur. Le B1 n'est d'aucune utilité sur l'ammonium, voire a tendance à relarguer le N-NH₄⁺ (par minéralisation de l'azote organique contenu dans les dépôts), et le B2 est le siège de l'oxydation d'au moins 30 % de l'ammonium introduit. Ces rendements sont moins élevés que ceux mesurés lors du suivi en continu hors période de dysfonctionnement (Figure 31) mais restent tout à fait similaires à ceux obtenus avec des charges appliquées bien supérieures.

4.2.4 Evolution des charges en N-NO₃- et estimation de la dénitrification

La méthodologie de traitement des données est identique à celle du paramètre N-NH₄⁺.

Concentrations		Rendements	
Débit Q1	Débit Q2	Débit Q1	Débit Q2

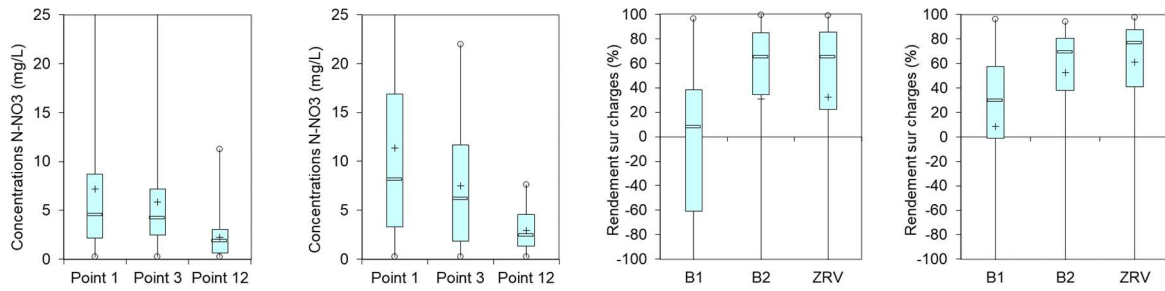


Figure 33 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en $N-NO_3^-$ réels (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes

Tant pour le bassin B1 que pour le bassin B2 ou que pour la ZRV dans son ensemble, les rendements en $N-NO_3^-$ sont très variables (Figure 33, droite). Les productions de nitrates sont plus fréquentes dans le B1 à débit Q1. Les moyennes de rendements sont toutes très inférieures aux médianes et soulignent l'hétérogénéité des résultats.

Si l'on s'attarde sur le nombre de jours par mois pour lesquels un rendement en $N-NO_3^-$ est significatif (supérieur à 50 %), on constate sur la Figure 34 que la disparition du $N-NO_3^-$ aurait lieu principalement dans le B2. Pendant l'année 2015, il semble que les périodes estivales soient plus favorables à la réduction de $N-NO_3^-$ que l'on aurait pu attribuer à la croissance des végétaux. Cette tendance n'est pas confirmée l'année suivante.

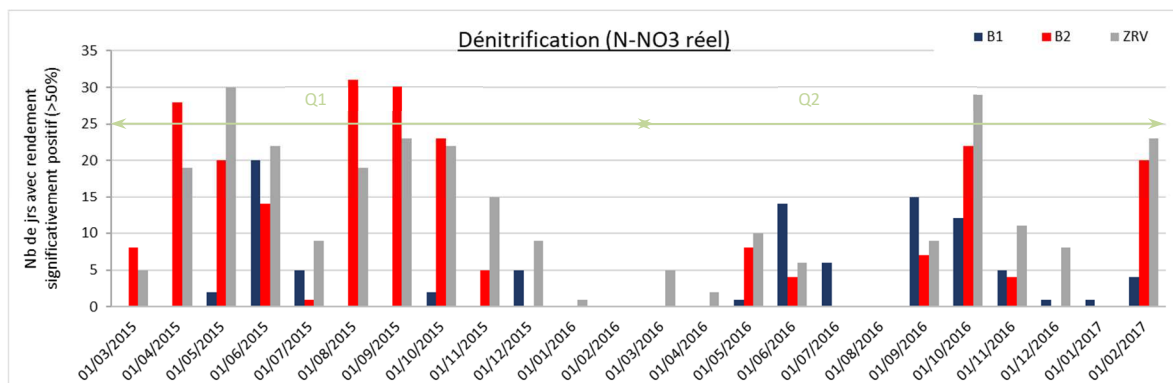


Figure 34 : Nombre de jours par mois avec rendement en $N-NO_3^- > 50\%$ (données sondes), incluant le potentiel de nitrification

L'impact des charges surfaciques appliquées a été recherché, sans succès et non présenté ici. Par contre, l'impact des températures (mesurées à 40 cm de profondeur sur le B1) est visible et développé en Figure 35.



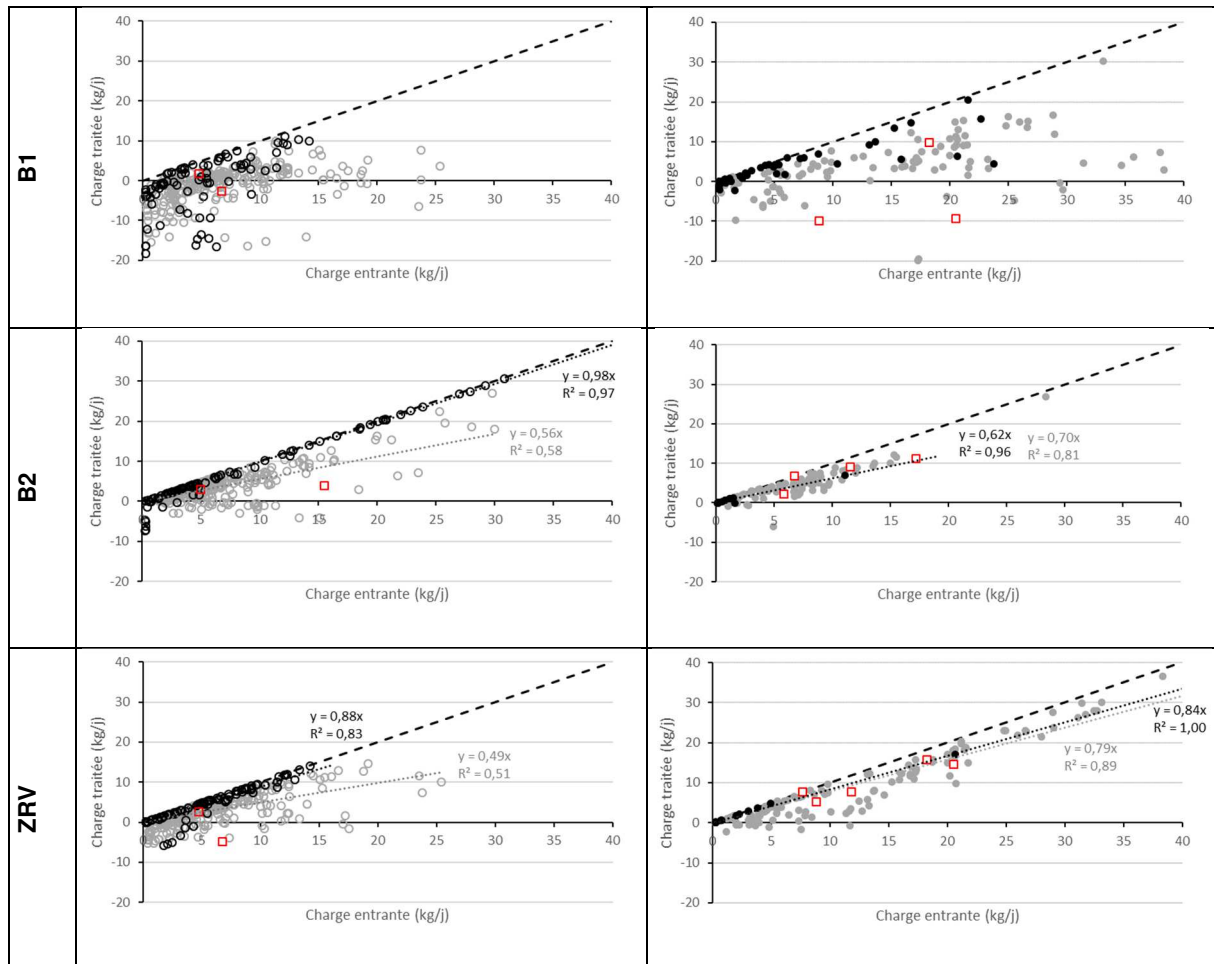


Figure 35 : Charges en $N-NO_3^-$ réel (données sondes), incluant le potentiel de nitrification au sein des bassins

Dans le bassin B1, il est observé une élimination très variable du $N-NO_3^-$. Quant au B2, une disparition du $N-NO_3^-$ est nettement visible et plus stable dès lors que les températures sont élevées ($> 15^\circ C$) avec un rendement potentiel évalué à 60 à 98 % (Figure 35). Ces pertes de $N-NO_3^-$ sur le B2 sont en lien avec des processus de dénitrification et/ou d'absorption (plantes par exemple) : les températures élevées correspondent à la saison estivale (printemps/été) et au développement des végétaux.

Globalement, pour l'ensemble de la ZRV, les pertes en nitrates sont très contrastées selon les températures en lien avec les saisons. Les éliminations peuvent atteindre de l'ordre de 80 à 90 % en saison estivale alors qu'elles sont trop variables ($R^2 = 0,51$ à débit Q1) en période plus froide pour pouvoir affirmer une valeur d'élimination.

En conséquence, 2 processus simultanés se déroulent au sein de ces bassins :

- une minéralisation des boues sur le B1 entraînant une production de $N-NH_4^+$ (Norg transformé en $N-NH_4^+$), puis une nitrification produisant des $N-NO_3^-$ dont seulement une petite partie est dénitrifiée. Cette hypothèse confirme celle déjà émise pour analyser l'évolution des ions ammonium ;
- une consommation de $N-NO_3^-$ par les végétaux (dont les algues) au printemps/été quasi-exclusivement.

En période Q2, les boues désormais déposées dans B2 génèrent une production de $N-NO_3^-$ cette situation nouvelle par rapport à la période Q1 est un élément d'explication des résultats différents entre les deux périodes, avec une élimination bien plus faible dans le B2 à Q2, avec un impact plus modéré des températures.

La distinction selon les gammes de températures de l'eau (< ou > 15°C) montre des performances moindres à basse température (Figure 35) et des rendements de l'ordre de 80 % en période de plus fortes températures à débit Q1. Cette amélioration des performances d'élimination du N-NO₃⁻ sur la ZRV est à mettre en relation directe avec le développement des plantes dès le mois d'avril dans le B2. Ce résultat, qui semble être positif, est à relativiser lors d'une éventuelle couverture de végétaux flottants qui empêche toute photosynthèse et confine le milieu en conditions anaérobies favorisant la dénitrification.

En période 2, les résultats sont moins contrastés et les rendements avoisinent les 80% quelles que soient les températures.

Lors des dysfonctionnements de la station de traitement des eaux usées de janvier à mars 2015 (relargages de N-NO₃⁻ : Figure 28), la charge traitée en N-NO₃⁻ lors de ces épisodes semble globalement nulle tant sur le B1 que sur le B2 comme illustré dans le Tableau 38 suivant :

Tableau 38 : Charges traitées et rendements en N-NO₃⁻ (potentiel de nitrification inclus) lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier à mars 2015)

	Charges cumulées en Janvier sur la période du 05/01/2015 au 25/01/2015			Charges cumulées en février sur la période du 24/02/2015 au 19/03/2015		
	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %
B1	232	302	-13	248	264	-6
B2	302	233	23	264	Données absentes	-
ZRV	232	233	13	248	Données absentes	-

Un autre exemple à débit Q2 (Figure 36) montre sous une forme graphique l'impact d'un dysfonctionnement au printemps 2017 pendant une vingtaine de jours à l'aide de suivi des concentrations; le bassin B1 n'atténue pas la pointe de concentration ; à l'inverse, le bassin B2 réduit sensiblement cette pointe de concentration.

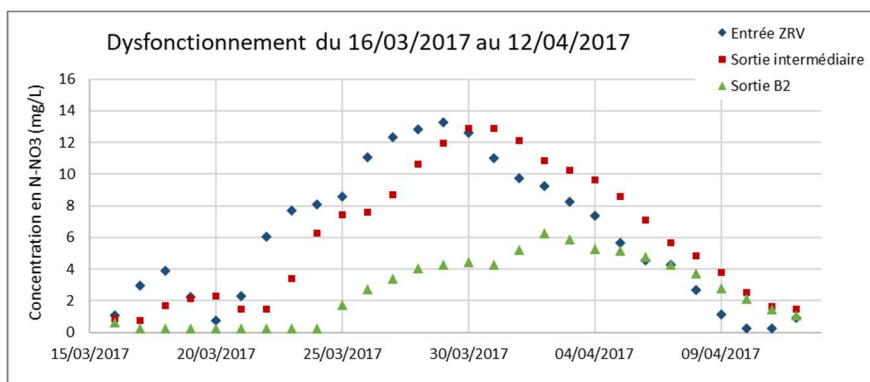


Figure 36 : Evolution des concentrations en N-NO₃⁻ d'entrée ZRV et sorties mesurées par les sondes (moyennes journalières) lors d'un dysfonctionnement de la station en mars 2017 (charges non calculables car données de débits absentes)

En cas de dysfonctionnement de la station de traitement des eaux usées entraînant un relargage important de N-NO₃⁻ vers la ZRV, cette dernière n'est pas en mesure d'apporter systématiquement un traitement complémentaire du N-NO₃⁻ (Tableau 38, Figure 36). La nitrification existante au sein du B1 induit des teneurs en nitrates plus élevées en sortie de B1 qu'en entrée de ZRV (Figure 36).

4.2.5 Evolution des charges en NGL

Le calcul des concentrations et charges en NGL est tel que :

$$\text{NGL} = \text{NK} + \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$$

Sur la période considérée, la concentration en nitrites mesurée est systématiquement négligeable (< 0,15 mg N-NO₂⁻/L).

Les données de N-NO₃⁻ mesurées en continu sont fournies par les sondes *in-situ*. Le paramètre NK a été recalculé sur la base des ratios N-NH₄⁺/NK (observés lors des prélèvements ponctuels et bilans 24h) et à partir des concentrations en N-NH₄⁺ mesurées en continu par les sondes.

La méthodologie de traitement des données est identique à celle des paramètres N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻ (parties 4.2.3 et 4.2.4 précédentes).

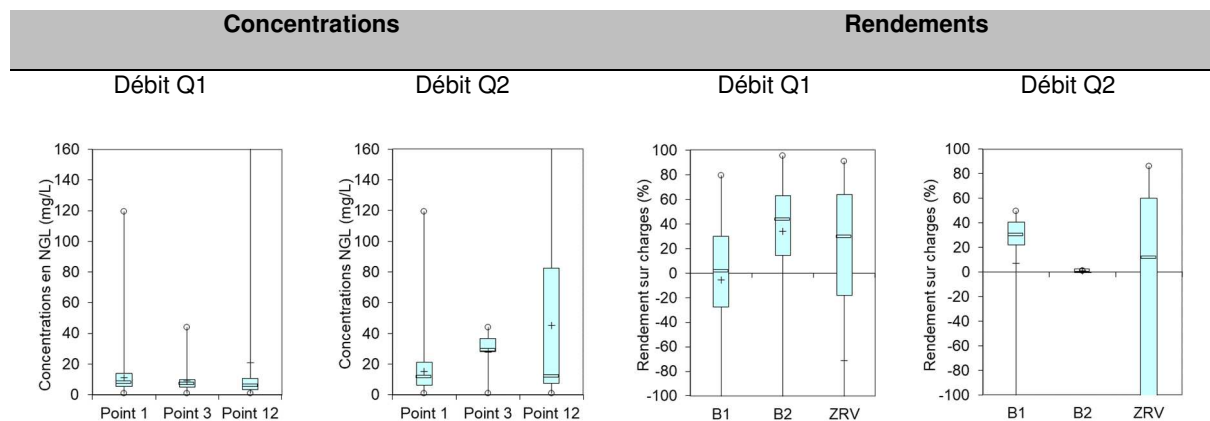


Figure 37 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en NGL (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes

Les concentrations admises en NGL varient de quelques mg/L à 25 mg/L (Figure 39).

Au sein du B1, l'élimination du NGL est très variable et en moyenne nulle. Ces résultats s'expliquent à la fois par une faible oxydation des formes azotées (concentrations en nitrates faibles), et un milieu à dominante aérobie incompatible avec les processus de dénitrification.

Sur le B2, la tendance montre des rendements systématiquement positifs avec une absence de relargage de NGL.

Si l'on s'attarde sur le nombre de jours par mois pour lesquels un rendement en NGL est significatif (supérieur à 50 %), on constate sur la Figure 38 que la disparition du NGL aurait lieu quasi-exclusivement au sein du B2. Les pics d'élimination existent en mars, août et octobre 2016 et ne permettent pas de faire un lien avec les saisons, ni avec la croissance de la végétation.

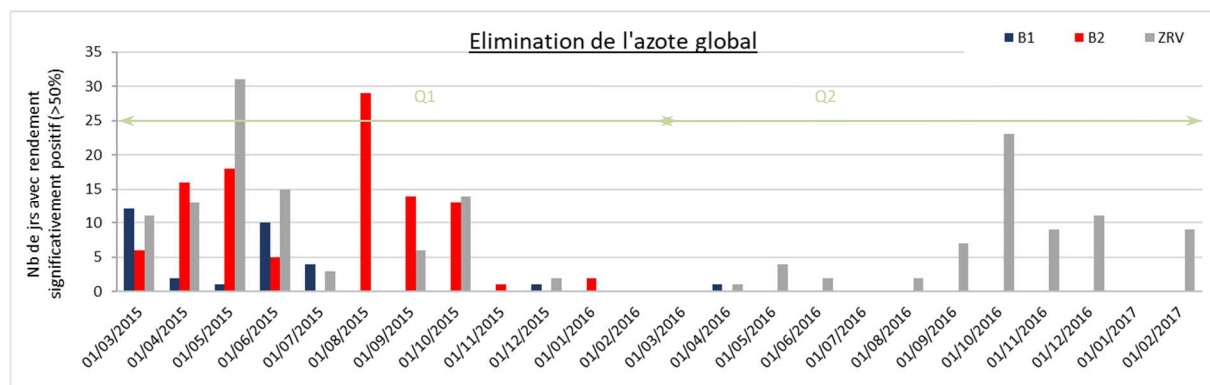


Figure 38 : Nombre de jours par mois avec rendement en NGL > 50 % (données sondes)

De même que pour le paramètre N-NH₄⁺, il n'a pas été observé de lien entre la réduction de l'ammonium et la température de l'eau et les résultats ne sont pas présentés ici.

Les représentations graphiques (Figure 39) de la relation : Charges traitées = f(Charges entrantes) » sont réalisées et, lorsqu'il est représenté, le coefficient directeur de la droite de régression linéaire passant par l'origine fournit le rendement moyen. A débit Q2, en absence de données du suivi par sondes spécifiques aux MES en sortie de B1, il n'est pas possible de reconstituer par le calcul l'azote organique, c'est pourquoi les graphes concernant les 2 bassins individuellement ne représentent que les bilans 24h réalisés par nos soins

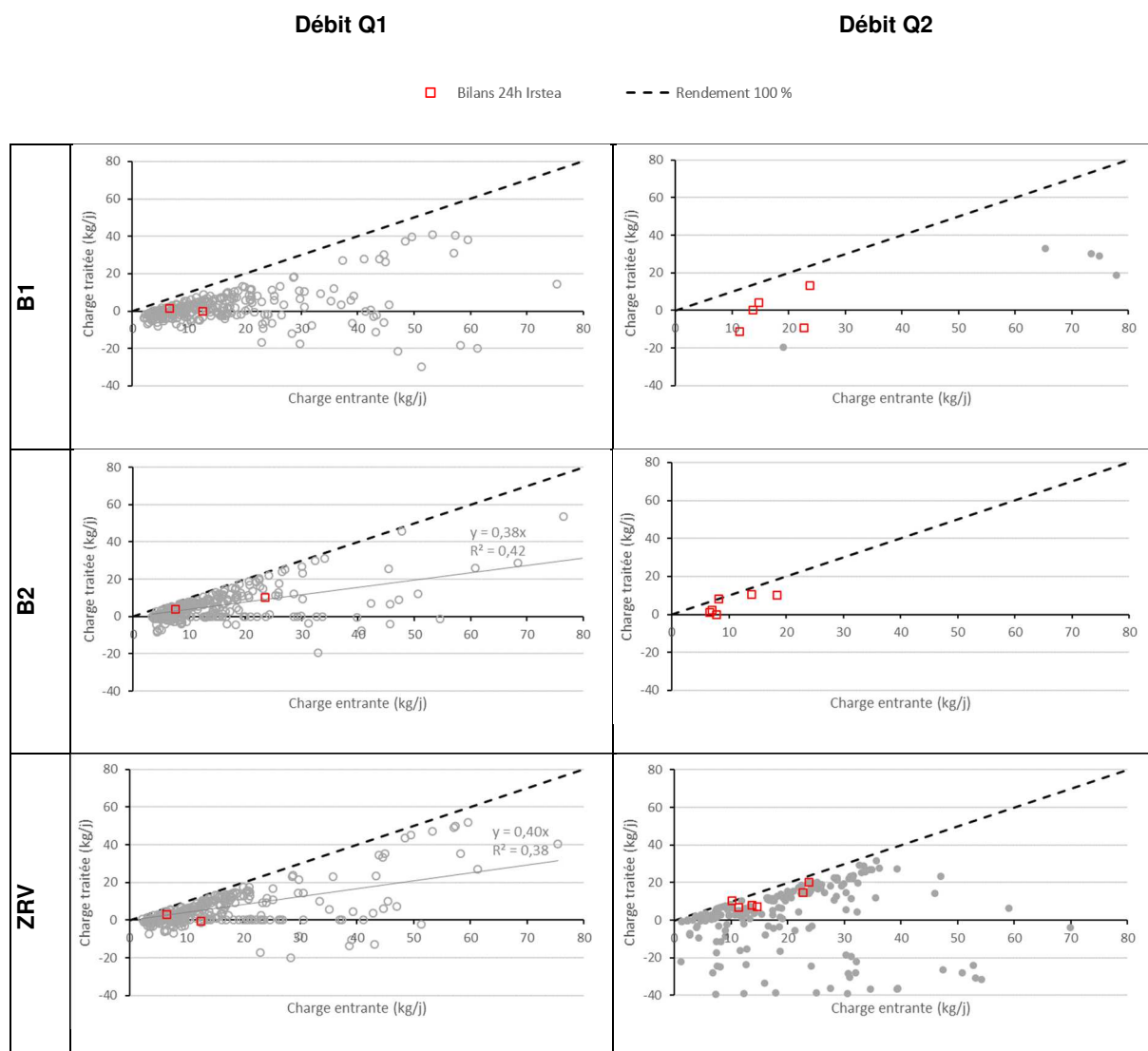


Figure 39 : Charges en NGL (données sondes)

Pour B2 et l'ensemble de la ZRV, la tendance est à la réduction de l'azote global de l'ordre de 40 %, à débit Q1, mais cette tendance est extrêmement variable, quelle que soit la charge appliquée (0 à 30 kgNGL/j, Figure 39). A titre de comparaison, pour un débit nominal de temps sec de 1224 m³/j et une concentration maximale de sortie de station d'épuration de 10 mgNGL/L, la charge entrante journalière « nominale maximale » sur la ZRV serait de 12 kgNGL/j.

Lors des dysfonctionnements de la station d'épuration de janvier à mars 2015 (relargages de N-NO₃⁻ et N-NH₄⁺ en quantités importantes), la charge traitée en NGL lors de ces épisodes semble globalement nulle sur le B1, et éventuellement positive sur le B2, comme illustré dans le Tableau 39.

Tableau 39 : Charges traitées et rendements en NGL lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier à mars 2015)

Charges cumulées en janvier sur la période	Charges cumulées en février sur la période
--	--

	du 08/01/2015 au 25/01/2015			du 09/02/2015 au 04/03/2015		
	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %	Entrante kg	Sortante kg	Rdmt %
B1	554	606	-9	756	817	-8
B2	606	426	30	817	Données absentes	-
ZRV	554	426	23	756	Données absentes	-

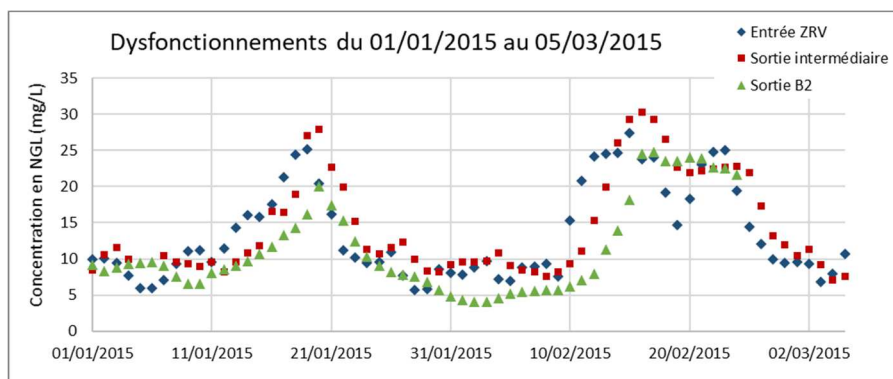


Figure 40 : Evolution des concentrations en NGL d'entrée ZRV et sortie calculées à partir des sondes (moyennes journalières) lors d'un dysfonctionnement de la station de janvier à mars 2015

En cas de dysfonctionnement de la station d'épuration en amont de la ZRV entraînant un relargage de NGL vers la ZRV, cette dernière semble en mesure d'apporter un léger traitement complémentaire (Figure 40). Cela se fera via un léger complément d'oxydation du $N-NH_4^+$ ainsi qu'une élimination des nitrates mais en quasi absence de dénitrification (absorption végétale majoritaire).

Toutefois, au regard des données fournies par les sondes, globalement sur la ZRV, la tendance globale serait à une diminution, de l'ordre de 30 à 40 %. Pourtant, il n'est pas possible de conclure quant à une évolution régulière du paramètre NGL tant la variabilité des données est importante.

4.2.6 Evolution des concentrations au cours de la ZRV

Pour rappel, le point 1 correspond à la sortie station d'épuration (entrée ZRV), le point 3 à la sortie du B1, et le point 12 à la sortie de la ZRV.

On précise par ailleurs que les teneurs en $N-NO_2^-$ (forte toxicité pour le milieu aquatique) sont systématiquement très faibles : $< 0,15$ mg/L pour chaque bilan 24h et en chaque point de la ZRV.

Deux exemples contrastés issus de 2 bilans 24h Irstea sont présentés ci-après.

Bilan 24h Irstea du 11 mars 2015 : le rejet de la station d'épuration est de très bonne qualité et les analyses fournissent des valeurs proches des limites de quantification pour chaque paramètre

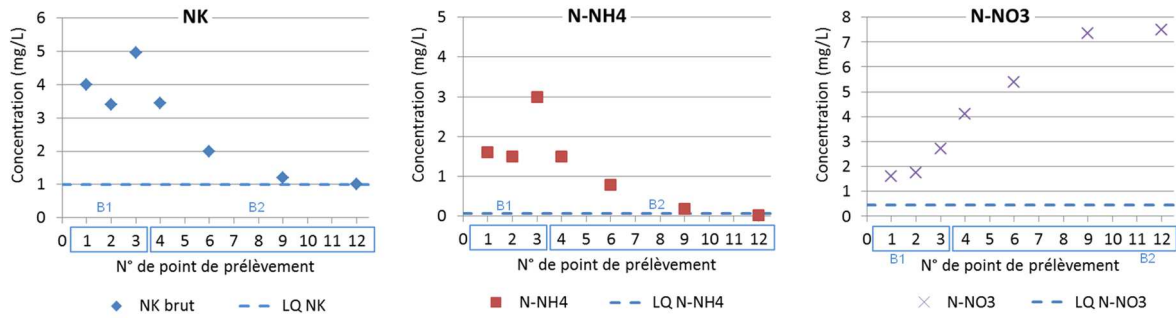


Figure 41 : Evolution des concentrations en azote au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015)

On note globalement une baisse des concentrations en NK et N-NH₄⁺ au cours de la ZRV, jusqu'à atteindre les limites de quantification en sortie (Figure 41). Les concentrations des prélèvements au point 3 sont plus élevées : elles correspondent sans doute à des problèmes de prélèvement d'une fraction particulière en excédent, boues et flottants s'accumulant en ce point.

Les prélèvements de mars 2015 font suite à des dysfonctionnements récents de la dénitrification sur la station de traitement des eaux usées. Au moment de la mesure, la situation est résolue et la concentration en nitrates introduite est basse. Pourtant, les valeurs enregistrées au fil de l'eau sont croissantes et sont le reflet des excès de nitrates apportés pendant la période précédente.

Il convient en effet de relativiser par rapport aux temps de séjour d'au moins 1 jour par bassin (partie 2.5.1) qui ne sont pas intégrés à cette représentation graphique.

Bilan 24h Irstea du 16 octobre 2015 : le rejet de la station d'épuration est de qualité médiocre à mauvaise pour les paramètres carbonés

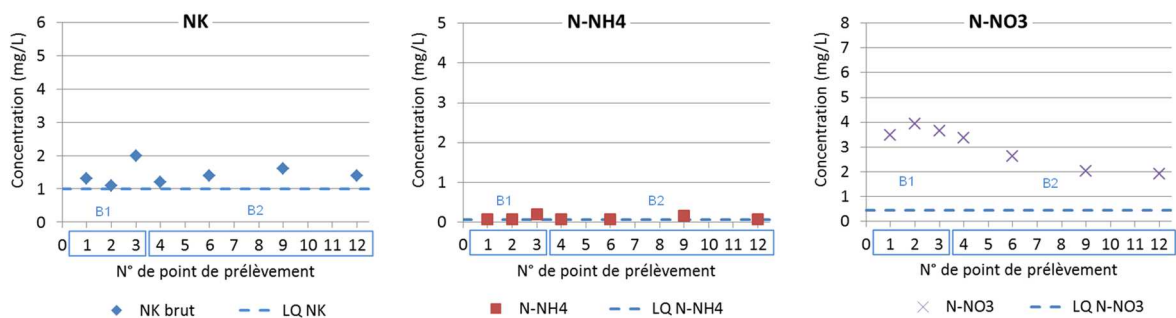


Figure 42 : Evolution des concentrations en azote au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 15 octobre 2015)

Pour le bilan 24h d'octobre 2015 (Figure 42), les concentrations en azote ammoniacal sont faibles et proches des limites de quantification. On relève une légère baisse de la concentration en nitrates au sein du B2, soit par réaction de dénitrification au sein de la ZRV, soit par absorption par les végétaux.

4.2.7 Charges et rendements (bilans 24h Irstea)

Les charges traitées sont calculées selon la méthodologie détaillée en partie 4.1.4.

Sont présentées dans les éléments du Tableau 40 (gauche) les données issues de bilans 24h Irstea, sur la période de mars 2015 à février 2016 (période Q1) puis de mars 2016 à février 2017 (période Q2). La partie droite de ce même tableau calcule des rendements.

Attention toutefois, les rendements en azote sont fournis ici à titre indicatif, et doivent être analysés sans oublier que les concentrations mesurées, tant en entrée qu'en sortie, sont généralement très faibles. Par exemple, le calcul affiche un rendement de 90% en éliminant 0.9 mg/L d'une concentration initiale

de 1 mg/L. A cette 1^{ère} mise en garde d'interprétation, s'ajoutent les fortes incertitudes sur les analyses portant sur de très faibles concentrations (proches des limites de quantification).

Tableau 40 : Concentrations, charges et rendements en azote (bilans 24h Irstea)

		Concentrations (mg/L)				Charges entrantes (kg/j)				Charges traitées (kg/j)			Rendements (%) sur charges			
		Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	B1	B2	ZRV	B1	B2	ZRV	
NK	Q1	10/03/2015	5,6	6,2	6,2	2,0	8,9	10,4	10,4	3,1	0,6	8,8	7,3	7	85	86
		11/03/2015	4,0	5,0	5,0	≤ 1	7,0	8,3	8,3	1,6	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	1,3	2,0	2,0	1,4	1,8	2,7	2,7	1,7	-0,5	0,9	0,1	< 0	36	18
		16/10/2015	2,6	1,8	1,8	1,5	3,5	2,3	2,3	1,7	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	2,6	#	#	#	3	#	#	#	1	#	1	42	#	#
	Q2	11/10/2016	1,8	1,8	1,8	#	1,8	1,7	1,1	#	-0,6	-0,6	0,1	< 0	< 0	< 0
		12/10/2016	5,4	2,2	2,2	#	6,0	2,4	1,4	#	1,5	0,0	4,7	25	< 0	24
		13/10/2016	#	2,0	2,0	1,3	#	4,5	2,6	1,7	#	1,2	#	#	47	#
		16/10/2016	2,3	1,7	1,7	1,4	3,0	2,0	1,7	1,4	-2,3	0,5	1,9	< 0	32	< 0
		17/10/2016	2,2	1,8	1,8	1,2	6,1	5,3	3,3	2,2	3,4	2,2	5,1	55	68	86
N-NH4	Q1	10/03/2015	3,45	1,50	1,50	≤ 0,02	5,5	2,5	2,5	0,0	0,5	2,5	5,4	8	99	99
		11/03/2015	1,60	3,00	3,00	≤ 0,02	2,8	5,0	5,0	0,0	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	0,08	0,21	0,21	0,08	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	8	67	70
		16/10/2015	0,39	0,08	0,08	0,08	0,5	0,1	0,1	0,1	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	1,15	#	#	#	1	#	#	#	1	#	1	65	#	#
	Q2	11/10/2016	0,38	0,48	0,48	#	0,4	0,5	0,3	#	-0,2	0,2	0,3	< 0	73	57
		12/10/2016	4,00	0,56	0,56	#	4,5	0,6	0,4	#	1,8	0,3	4,5	41	94	97
		13/10/2016	#	1,16	1,16	0,06	#	2,6	1,5	0,1	#	1,5	#	#	99	#
		16/10/2016	0,96	0,55	0,55	≤ 0,02	1,3	0,7	0,5	0,0	-0,4	0,5	1,2	< 0	92	89
		17/10/2016	0,82	0,58	0,58	0,09	2,3	1,7	1,0	0,2	1,3	1,0	2,2	58	96	98
N-NO2	Q1	10/03/2015	0,04	0,22	0,22	≤ 0,02	0,1	0,4	0,4	0,0	-0,1	0,3	0,0	< 0	92	73
		11/03/2015	0,05	0,12	0,12	≤ 0,02	0,1	0,2	0,2	0,0	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	0,07	0,08	0,08	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	< 0	79	77
		16/10/2015	≤ 0,02	0,08	0,08	≤ 0,02	0,0	0,1	0,1	0,0	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	0,25	#	#	#	0	#	#	#	0	#	0	36	#	#
	Q2	11/10/2016	0,16	0,19	0,19	#	0,2	0,2	0,1	#	0,0	0,0	0,0	< 0	< 0	< 0
		12/10/2016	0,39	0,19	0,19	#	0,4	0,2	0,1	#	-0,2	-0,1	0,2	< 0	< 0	< 0
		13/10/2016	#	0,28	0,28	0,09	#	0,6	0,4	0,1	#	0,1	#	#	27	#
		16/10/2016	0,20	0,16	0,16	0,27	0,3	0,2	0,2	0,3	-0,3	0,0	0,1	< 0	13	< 0
		17/10/2016	0,19	0,20	0,20	0,17	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	40	63	77
N-NO3 apparent (mesuré)	Q1	10/03/2015	2,3	7,8	7,8	8,5	3,7	13,0	13,0	13,3	-0,9	1,3	-8,0	< 0	10	< 0
		11/03/2015	1,6	2,7	2,7	7,5	2,8	4,5	4,5	11,7	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	3,5	3,7	3,7	1,9	4,8	4,9	4,9	2,4	1,8	2,7	2,7	38	56	73
		16/10/2015	≤ 0,45	2,3	2,3	1,9	0,6	3,0	3,0	2,1	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	10,3	#	#	#	12	#	#	#	3	#	6	25	#	#
	Q2	11/10/2016	11,8	9,1	9,1	#	11,8	8,7	5,5	#	0,9	-0,2	6,1	7	< 0	3
		12/10/2016	14,9	10,2	10,2	#	16,7	11,0	6,4	#	-10,6	2,1	12,4	< 0	34	< 0
		13/10/2016	#	12,0	12,0	4,4	#	27,3	15,8	5,8	#	11,5	#	#	73	#
		16/10/2016	6,3	5,4	5,4	4,3	8,3	6,4	5,3	4,3	-9,1	1,7	4,7	< 0	32	< 0
		17/10/2016	6,3	5,9	5,9	3,3	17,6	17,4	10,7	6,0	9,9	8,2	15,1	57	77	90
N-NO3 réel (nitrification incluse)	Q1	10/03/2015	4,3	9,2	9,2	8,5	6,7	15,5	15,5	13,3	-2,7	3,8	-4,9	< 0	25	< 0
		11/03/2015	1,6	5,7	5,7	7,5	2,8	9,5	9,5	11,7	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	3,5	3,8	3,8	1,9	4,8	5,0	5,0	2,4	1,8	2,9	2,7	38	58	74
		16/10/2015	0,8	2,3	2,3	1,9	1,0	3,0	3,0	2,1	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
	Q2	11/10/2016	11,8	#	#	#	11,8	#	#	#	#	#	6,1	#	#	#
		12/10/2016	18,3	#	#	#	20,5	#	#	#	-9,3	#	16,3	< 0	#	#
		13/10/2016	#	13,1	13,1	4,4	#	29,8	17,2	5,8	#	12,9	#	#	75	#
		16/10/2016	6,7	5,9	5,9	4,3	8,9	7,1	5,9	4,3	-10,0	2,2	5,2	< 0	38	< 0
		17/10/2016	6,5	6,4	6,4	3,3	18,3	18,9	11,6	6,0	9,7	9,1	15,8	53	78	90
NGL	Q1	10/03/2015	7,9	14,0	14,0	10,5	12,5	23,4	23,4	16,4	-0,2	10,2	-0,7	< 0	43	42
		11/03/2015	5,6	7,7	7,7	8,5	9,7	12,8	12,8	13,2	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	4,8	5,7	5,7	3,3	6,6	7,5	7,5	4,1	1,3	3,7	2,7	20	49	59
		16/10/2015	3,1	4,1	4,1	3,4	4,1	5,2	5,2	3,8	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	12,9	#	#	#	15	#	#	#	4	#	7	29	#	#
	Q2	11/10/2016	13,6	10,9	10,9	#	13,7	10,5	6,6	#	0,3	-0,9	6,2	2	< 0	< 0
		12/10/2016	20,3	12,4	12,4	#	22,7	13,4	7,8	#	-9,1	2,1	17,1	< 0	27	< 0
		13/10/2016	#	14,0	14,0	5,7	#	31,8	18,4	7,5	#	12,7	#	#	69	#
		16/10/2016	8,6	7,1	7,1	5,7	11,3	8,5	7,0	5,6	-11,4	2,3	6,6	< 0	32	< 0
		17/10/2016	8,5	7,7	7,7	4,5	23,7	22,7	13,9	8,1	13,3	10,4	20,2	56	75	89
18/10/2016	6,9	7,2	7,2	4,2	10,2	10,4	8,2	4,8	#	#	#	#	#	#		
19/10/2016	#	#	#	3,4	#	#	#	3,5	#	#	#	#	#	#	#	

Au regard de ces bilans 24h, les calculs des rendements d'élimination au sein du bassin B1 confirment les analyses précédentes. Les mécanismes de minéralisation de l'azote organique génèrent une production d'azote sous forme ammoniacale (NH₃ puis N-NH₄⁺), qui peut être importante (plus de 65 %). La dénitrification est variable selon les périodes et, lorsqu'elle existe, elle coïncide sans surprise avec les phases de réduction des nitrates.

Au sein du bassin 2, l'élimination de l'ammonium $N-NH_4^+$ est systématiquement supérieure à 50 % (Tableau 40) ; elle conforte les tendances déjà observées grâce aux données enregistrées en continu (sondes $N-NH_4^+$, voir partie 4.2.3 de ce même chapitre) bien que les rendements soient nettement plus élevés lors de ces bilans 24h.

Concernant les nitrates $N-NO_3^-$ et leur éventuelle dénitrification/absorption au sein du B2, les performances sont variables selon les prélèvements réalisés. Cette importante variabilité des données a également été observée lors de l'analyse des résultats obtenus par les sondes de mesures en continu (partie 4.2.4). Ces performances restent systématiquement positives et le bassin B2 contribue à la réduction des nitrates, soit grâce aux végétaux, soit par la mise en place de conditions physico-chimiques favorables à la dénitrification.

Les formes oxydées de l'azote introduites et /ou produites dans le bassin 1 poursuivent leur oxydation dans le bassin B2 et sont partiellement dénitrifiées (ou consommées par les végétaux). Pour autant, l'évolution globale de l'azote reste très variable et il n'est guère possible à ce stade de l'analyse, de statuer sur les performances annuelles de cette ZRV vis-à-vis de ce paramètre.

4.2.8 Charges en azote

Une **synthèse des charges et des performances associées** peut être établie, sur la base des différentes méthodologies de mesures réalisées sur le site. Il est ainsi possible de comparer les charges annuelles cumulées en azote issues des sondes, bilans 24h et prélèvements ponctuels.

L'élaboration du bilan massique de l'azote implique de calculer les charges azotées transitant dans la ZRV et rapportées à une année (charges annuelles en kg/an par exemple). De manière générale, le calcul des charges est défini tel que :

Charge (kg) pour une période considérée =

$$\sum (\text{concentrations (mg/L = g/m}^3) \times \text{débits (m}^3/\text{j)}) \text{ sur la période considérée}$$

Pour chaque paramètre, les concentrations sont établies de la manière suivante :

- $N-NH_4^+$: valeurs mesurées par les sondes ou par analyse de laboratoire, moyennées à la journée (sondes) ;
- $N-NO_3^-$: valeurs mesurées par les sondes ou par analyse de laboratoire, moyennées à la journée (sondes) ;
- $N-NO_3^-$ réel : valeurs mesurées par les sondes ou par analyse de laboratoire, moyennées à la journée (sondes) avec ajout du potentiel de nitrification (différence de concentrations en $N-NH_4^+$ entre l'entrée et la sortie) ;
- Norg : ratio de la concentration en MES + azote réfractaire ;
 - le ratio est établi à partir des concentrations mesurées lors des bilans 24h et des ponctuels, il est variable selon le degré de traitement correspondant aux divers points de mesure:
 - la concentration en azote réfractaire est fixée à 1 mg/L
 - Entrée ZRV : $Norg = 0,075 \times \text{concentration en MES} + 1 \text{ mg/L}$;
 - Sortie intermédiaire : $Norg = 0,066 \times \text{concentration en MES} + 1 \text{ mg/L}$;
 - Sortie ZRV : $Norg = 0,045 \times \text{concentration en MES} + 1 \text{ mg/L}$.
- NK : \sum concentrations en $N-NH_4^+$ et Norg ;
- NGL : \sum concentrations en NK et $N-NO_3^-$ (les concentrations en $N-NO_2^-$ mesurées étant négligeables).

Le nombre de données acquises est différent selon les saisons. Les calculs des charges par type de mesure (sonde, bilan 24h, prélèvement ponctuel) et par paramètre (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, Norg, NK, NGL) tiennent compte de ce rythme. Ainsi l'année est découpée en 4 périodes (printemps, été, automne, hiver) de durée équivalente de 91 ou 92 j. Une « saison » est découpée de la sorte :

- printemps : 1^{er} mars au 31 mai ;
- été : 1^{er} juin au 31 août ;
- automne : 1^{er} septembre au 30 novembre ;
- hiver : 1^{er} décembre au 28/29 février.

Les calculs réalisés sont donc :

- Sondes : Charge saisonnière (kg/saison) = 92 X \sum [charge moyenne journalière type bilan 24h] / Nb valeurs
- Bilans 24h ou Prélèvements ponctuels : Charge saisonnière (kg/saison) = 92 X \sum [concentration x débit journalier] / Nb valeurs

Ce calcul revient à définir une seule valeur saisonnière et évite le biais induit des nombres de données différents selon les périodes de l'année.

La charge annuelle est alors établie telle que :

$$\text{Charge annuelle (kg/an)} = \text{charge}_{\text{printemps}} + \text{charge}_{\text{été}} + \text{charge}_{\text{automne}} + \text{charge}_{\text{hiver}} \text{ en kg/saison}$$

Les 3 modes de calcul des charges, exprimées en tonnes d'azote par an, réalisés à partir des sondes, des bilans 24h et des prélèvements ponctuels sont présentés en ANNEXES (n°2).

Etant donné les fortes incertitudes de mesures des sondes, notamment vis-à-vis des très faibles concentrations proches des limites de quantification, les calculs de charges établis avec ce type de mesure ne seront pas retenus pour cette partie. En effet, le fait d'imposer une limite basse à 0,5 mg/L pour les paramètres N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻ peut induire une surestimation des charges cumulées annuellement, principalement pour les valeurs faibles à l'aval de la ZRV. Les sondes sont finalement utilisées afin de conforter les résultats collectés lors des bilans 24h et des prélèvements ponctuels, et non en vue d'élaborer les bilans massiques.

Les bilans 24h seuls sont insuffisants pour émettre des conclusions quant aux charges transitant dans la ZRV car trop peu nombreux. C'est pourquoi les prélèvements ponctuels sont inclus dans l'analyse finale du bilan massique ; les données du couple « Bilans 24h + Ponctuels » (Figure 43) seront interprétées en conclusion du fonctionnement de la ZRV.

Charge entrée ZRV					B1	Charge sortie B1					Charge traitée			Bdmt moyen	
Q1		Q2		Q1		Q2		Q1		Q2		Q1	Q2		
t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an		Nb val	t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an	t/an	
Norg	1,0	24	0,8	29	0,8	24	0,8	23	0,8	24	0,0	0,0	18%	1%	
N-NH4	0,6	24	0,6	28	0,6	24	0,8	23	0,2	24	-0,2	-0,2	-2%	-29%	
NK	1,7	14	1,2	14	1,5	14	1,0	12	0,2	24	0,2	0,2	14%	14%	
N-NO3 app	1,3	24	3,2	28	1,4	24	2,9	23	N-NO3 app	-0,1	0,4	0,4	-4%	11%	
N-NO3 reel	1,6	24	3,3	27	1,9	24	3,6	21	N-NO3 reel	-0,2	-0,2	-0,2	-14%	-7%	
NGL	3,1	14	4,2	14	3,0	14	4,3	12	NGL	0,1	-0,1	-0,1	2%	-2%	

Charge entrée B2					B2	Charge sortie ZRV					Charge traitée			Bdmt moyen	
Q1		Q2		Q1		Q2		Q1		Q2		Q1	Q2		
t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an		Nb val	t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an	Nb val	t/an	t/an	
Norg	0,8	24	0,6	23	0,5	23	0,4	22	0,3	24	0,1	0,1	34%	23%	
N-NH4	0,6	24	0,3	23	0,1	24	0,0	22	0,5	24	0,2	0,2	80%	84%	
NK	1,5	14	0,7	12	0,6	14	0,5	11	0,8	24	0,2	0,2	57%	31%	
N-NO3 app	1,4	24	2,4	23	1,0	24	1,5	22	N-NO3 app	0,4	0,9	0,9	27%	36%	
N-NO3 reel	1,9	24	2,7	21	1,0	24	1,5	22	N-NO3 reel	0,9	1,2	1,2	46%	43%	
NGL	3,0	14	3,0	12	1,8	14	1,6	11	NGL	1,2	1,4	1,4	40%	46%	

Charge traitée			Bdmt moyen	
Q1		Q2	Q1	Q2
t/an	Nb val	t/an	t/an	t/an
Norg	0,5	0,1	46%	16%
N-NH4	0,5	0,1	80%	13%
NK	1,1	0,4	63%	33%
N-NO3 app	0,3	1,2	24%	36%
N-NO3 reel	0,6	0,9	39%	28%
NGL	1,3	1,3	42%	32%

Figure 43 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en azote sur chaque compartiment de la ZRV, pour les mesures de type « bilans 24h + ponctuels », pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)

Les charges entrantes en NGL sont d'environ 3 tonnes/an, réparties en :

1,0 t de Norg,

0,6 t de N-NH₄⁺,

1,4 t de N-NO₃⁻.

Au regard des charges traitées par chacun des bassins, il apparaît que le B1 n'a que très peu d'impact (< 0,2 t de Norg traitées).

Le bassin B2 assure à lui seul le traitement de près de 1,5 t de NGL par an. Ce 2^{ème} bassin, de profondeur plus faible que le B1 et nettement plus végétalisé, traiterait ainsi de 0,2 à 0,8 t de NK et 0,4 à 0,9 t de N-NO₃⁻ (potentiel de nitrification inclus).

Sur l'ensemble de la ZRV, la nitrification est variable de 13 à 80 % ; jusqu'à environ 40 % des nitrates NO₃⁻ seraient traités, et ce quasi exclusivement par le bassin B2.

D'une manière générale, il apparaît que la nitrification peut atteindre des taux d'élimination de l'ordre de 70 % si les charges appliquées journalières sont inférieures à 15 kg de N-NH₄⁺/j.

Un temps de séjour de 3 j semble être un minimum pour obtenir des performances. La comparaison initiale des 2 situations Q1 et Q2 n'a pas permis d'identifier l'impact du temps de séjour et de valider la pertinence d'un temps de séjour plus long. En revanche, il est possible que les dépôts apparaissant dans le bassin B2 en 2^{ème} période modifient l'équilibre identifié en situation Q1 et qu'ils soient l'un des éléments explicatifs des résultats si différents entre Q1 et Q2. L'extraction régulière des dépôts est très vivement conseillée.

4.3 Le phosphore dans le compartiment eau

Rappel des seuils réglementaires - Les seuils limites de concentrations sur le paramètre phosphore en sortie de la station d'épuration de Marguerittes sont mentionnés dans l'arrêté préfectoral n° 2007-11-14 du 11 janvier 2007 et reportés dans le Tableau 41.

Tableau 41 : Seuils réglementaires en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètre phosphore)

Paramètre	Concentration maximale (mg/L)	Conditions de conformité
Pt	1	Sur résultats moyens journaliers

Ces fortes exigences ne sont pas courantes et soulignent la fragilité du milieu récepteur. La station est donc dotée d'un traitement du phosphore par précipitation au chlorure ferrique.

En entrée de la ZRV, l'ensemble des données Irstea disponibles (prélèvements ponctuels et bilans 24h) est présenté dans le Tableau 42. Sur la période concernée, les dépassements sont peu nombreux :

Tableau 42 : Concentrations et charges moyennes en entrée ZRV en paramètres phosphorés (mars 2015 à février 2017)

		Concentration entrée ZRV (mg/L)					Charge entrante sur la ZRV (kg/j)					
		Moy	ET	Min	Max	Nb val	Moy	ET	Min	Max	Nb val	
Pt	Q1	Ponctuels	0,7	0,6	0,2	1,7	10	1,0	0,9	0,2	2,9	10
		Bilans 24h	0,6	0,2	0,4	0,8	4	0,9	0,3	0,5	1,1	4
	Q2	Ponctuels	0,3	0,1	0,2	0,4	8	0,3	0,1	0,2	0,5	8
		Bilans 24h	0,4	0,1	0,3	0,7	6	0,6	0,2	0,4	0,9	6
P-PO4	Q1	Ponctuels	0,3	0,2	0,1	0,7	10	0,3	0,2	0,1	0,8	10
		Bilans 24h	0,2	0,1	0,1	0,4	4	0,3	0,2	0,1	0,5	4
	Q2	Ponctuels	0,1	0,1	0,0	0,3	10	0,1	0,1	0,0	0,3	10
		Bilans 24h	0,2	0,1	0,2	0,4	6	0,3	0,1	0,2	0,5	6

En entrée de ZRV, les charges admises varient d'environ 0,2 à 2.9 kg/j en Pt et 0,1 à 0,8 kg/j en P-PO₄³⁻. Les moyennes sont de 0,5 à 1,0 kg/j en Pt et 0,2 à 0,3 kg/j en P-PO₄³⁻ selon la période considérée (débits Q1 et Q2).

En comparaison avec la filière de traitement des eaux usées par lagunage (Tableau 43), les charges journalières surfaciques ainsi appliquées sont relativement importantes : équivalente à celle d'une lagune de tête pour le B1, la charge appliquée n'est plus que de 60 % lorsqu'elle est comparée à l'ensemble de la ZRV.

Tableau 43 : Comparaison des charges moyennes appliquées en Pt sur la ZRV de Marguerittes par rapport à du lagunage naturel (traitement des eaux usées brutes)

	Charges journalières surfaciques appliquées (kg/ha/j)					
	En lagunage naturel *	Sur l'ensemble de la ZRV de Marguerittes		Sur la lagune de tête*	Sur B1 à Marguerittes	
		Q1	Q2		Q1	Q2
Pt	1,6	0,9 [0,3 à 1,9]	0,4 [0,2 à 0,6]	2,9	2,5 [0,9 à 5,4]	1,2 [0,7 à 1,8]

* Selon la référence de 50 gDBO₅/j pour une charge nominale de lagunage, et en considérant une surface de 6 m²/hab pour une lagune primaire (eau brute) et 11 m²/hab au total pour un lagunage composé de 3 lagunes (Racault Y. et al, 1997).

4.3.1 Evolution des concentrations au cours de la période d'étude

Sont exposées dans la Figure 44 ci-après les données issues de prélèvements ponctuels et bilans 24h Irstea sur la période de janvier 2015 à avril 2017, de la sortie de la station d'épuration (entrée ZRV) et de la sortie de la ZRV.

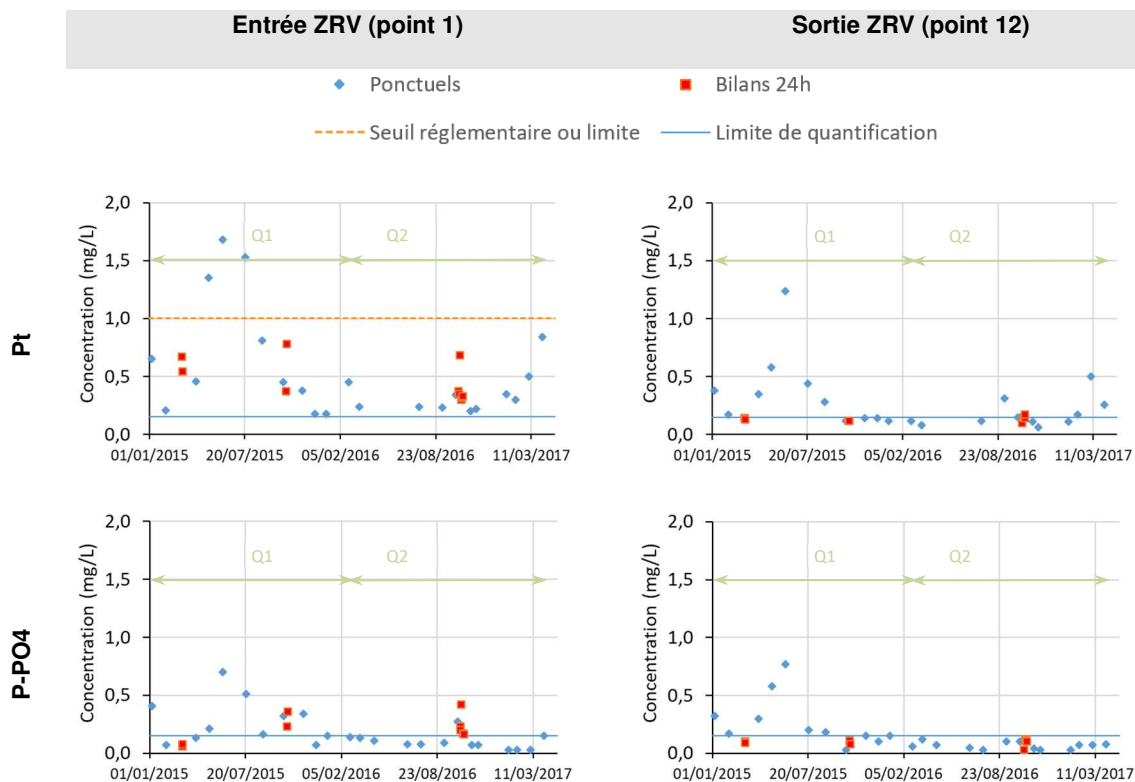


Figure 44 : Évolution des concentrations en paramètres phosphorés au cours du temps sur la ZRV (données issues des prélèvements Irstea et autosurveillance)

Les prélèvements ponctuels mettent en évidence quelques dépassements que les bilans 24h n'avaient pas identifiés. Pour autant, les concentrations sont généralement inférieures au seuil limite réglementaire de 1 mgPt/L, sauf quelques exceptions au printemps/été 2015. En sortie de ZRV, les bilans 24h Irstea mettent en évidence des concentrations généralement < 0,5 mgPt/L.

Les limites de quantification en laboratoire sont très basses pour les paramètres phosphore, ce qui réduit fortement les incertitudes sur les concentrations analysées. C'est pourquoi il est possible de statuer quant à l'effet positif de l'ouvrage ZRV vis-à-vis du paramètre Pt.

Vis-à-vis des orthophosphates (PO_4^{3-}), les concentrations en entrée de ZRV semblent être supérieures à celles de sortie. Pour autant, la comparaison au printemps 2015 montre des valeurs très équivalentes entre l'entrée et la sortie de la ZRV. Cette première observation ne permet pas de statuer quant à un effet positif vis-à-vis du paramètre PO_4^{3-} .

4.3.2 Evolution des concentrations au cours de la ZRV

Pour rappel, le point 1 correspond à la sortie station d'épuration (entrée ZRV), le point 3 à la sortie du B1 et le point 12 à la sortie de la ZRV.

Deux exemples issus de 2 bilans 24h Irstea sont présentés ci-après.

Bilan 24h Irstea du 11 mars 2015 : le rejet de la station d'épuration est de très bonne qualité et les analyses fournissent des valeurs proches des limites de quantification pour chaque paramètre

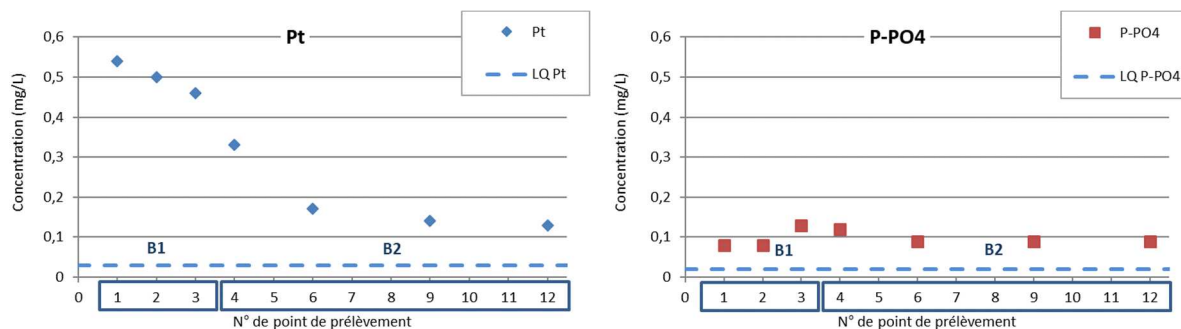


Figure 45 : Evolution des concentrations en phosphore au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015)

Lors de ce bilan (Figure 45), on observe une baisse progressive des concentrations en Pt au sein de la ZRV. Cette tendance est moins marquée pour le paramètre P-PO₄ (fraction dissoute). Il semblerait donc que la phase particulaire du phosphore soit retenue dans la première partie de la ZRV : il peut s'agir d'un piégeage dans les boues par exemple.

Bilan 24h Irstea du 16 octobre 2015 : le rejet de la station d'épuration est de qualité médiocre à mauvaise pour les paramètres carbonés.

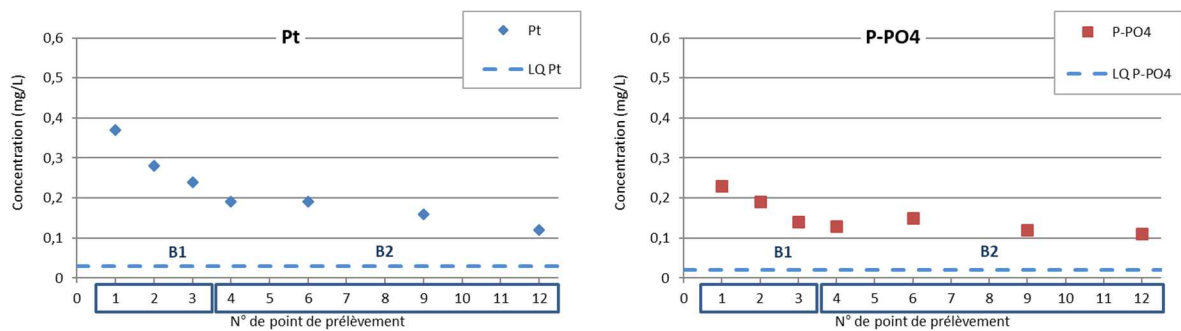


Figure 46 : Evolution des concentrations en phosphore au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 15 octobre 2015)

Malgré une qualité dégradée sur les paramètres carbonés, les concentrations entrantes en Pt et P-PO₄ sont équivalentes à celle mentionnée précédemment (partie 4.3.1). L'évolution du Pt est totalement similaire alors que celle du P-PO₄ est différente. La diminution des concentrations en phosphates au sein du B1 est visible. Ces résultats positifs doivent être relativisés car la représentation graphique ne prenant pas en compte les temps de séjour d'au moins 1 jour par bassin.

4.3.3 Charges et rendements (bilans 24h Irstea)

Les charges traitées sont calculées selon la méthodologie détaillée en partie 4.1.4.

Les données issues des bilans 24h Irstea, sur la période d'étude de janvier 2015 à avril 2017, sont présentées dans le

Tableau 44. Les rendements en phosphore sont fournis à titre indicatif, et doivent être analysés sans oublier que les concentrations mesurées, tant en entrée qu'en sortie, sont généralement très faibles. Par exemple, le calcul affiche un rendement de 90 % en éliminant 0.9 mg/L d'une concentration initiale de 1 mg/L.

Tableau 44 : Concentrations, charges et rendements en phosphore (bilans 24h Irstea)

		Concentrations (mg/L)				Charges entrantes (kg/j)				Charges traitées (kg/j)			Rendements (%) sur charges			
		Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	Entrée ZRV	Sortie B1	Entrée B2	Sortie ZRV	B1	B2	ZRV	B1	B2	ZRV	
Pt	Q1	10/03/2015	0,67	#	#	0,14	1,1			0,2	0,3	#	0,9	28	#	#
		11/03/2015	0,54	0,46	0,46	0,13	0,9	0,8	0,8	0,2	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	0,37	0,24	0,24	0,12	0,5	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	41	57	74
		16/10/2015	0,78	0,24	0,24	0,12	1,1	0,3	0,3	0,1	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	0,37	#	#	#	0	#	#	#	0	#	0	50	#	#
		11/10/2016	0,35	0,22	0,22	#	0,4	0,2	0,1	#	0,0	0,0	0,2	5	2	7
	Q2	12/10/2016	0,68	0,31	0,31	#	0,8	0,3	0,2	#	0,1	0,0	0,6	10	24	32
		13/10/2016	#	0,30	0,30	≤ 0,1	#	0,7	0,4	0,1	#	0,2	#	#	62	#
		16/10/2016	0,30	0,21	0,21	0,15	0,4	0,3	0,2	0,1	-0,2	0,0	0,2	< 0	23	< 0
		17/10/2016	0,32	0,21	0,21	0,15	0,9	0,6	0,4	0,3	0,6	0,2	0,7	67	54	85
		18/10/2016	0,33	0,20	0,20	0,14	0,5	0,3	0,2	0,2	#	#	#	#	#	#
		19/10/2016	#	#	#	0,17	#	#	#	0,2	#	#	#	#	#	#
P-PO4	Q1	10/03/2015	0,06	0,08	0,08	0,10	0,1	0,1	0,1	0,2	-0,1	0,0	0,0	< 0	< 0	< 0
		11/03/2015	0,08	0,13	0,13	0,09	0,1	0,2	0,2	0,1	#	#	#	#	#	#
		15/10/2015	0,23	0,14	0,14	0,11	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	40	51	71
		16/10/2015	0,36	0,15	0,15	0,08	0,5	0,2	0,2	0,1	#	#	#	#	#	#
		10/10/2016	0,23	#	#	#	0	#	#	#	0	#	0	45	#	#
		11/10/2016	0,20	0,15	0,15	#	0,2	0,1	0,1	#	0,0	0,1	0,2	9	57	61
	Q2	12/10/2016	0,42	0,17	0,17	#	0,5	0,2	0,1	#	0,0	0,0	0,4	3	< 0	< 0
		13/10/2016	#	0,20	0,20	≤ 0,03	#	0,5	0,3	0,0	#	0,1	#	#	55	#
		16/10/2016	0,17	0,14	0,14	0,12	0,2	0,2	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,1	< 0	9	< 0
		17/10/2016	0,17	0,14	0,14	0,11	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	54	59	81
		18/10/2016	0,16	0,15	0,15	0,11	0,2	0,2	0,2	0,1	#	#	#	#	#	#
		19/10/2016	#	#	#	0,10	#	#	#	0,1	#	#	#	#	#	#

La qualité de l'eau en sortie de ZRV est particulièrement bonne pendant les 12 bilans 24h réalisés. Pour l'ensemble des bilans 24h considérés, il semble possible d'affirmer que la ZRV a une influence positive sur la réduction du Pt. Concernant les PO₄, les résultats sont plus variables, avec des rendements positifs et des rendements négatifs (relargages). Pour ces deux paramètres, les performances au sein du B2 semblent être plus fortes que celles au sein du B1.

Un bilan massique annuel de l'évolution du phosphore peut être conduit à partir des mesures issues des bilans 24h et des prélèvements ponctuels, tel que détaillé en ANNEXES (n°2).

En entrée de ZRV et à la sortie intermédiaire (sortie B1), les ordres de grandeur de charges calculés par les deux méthodes de prélèvements (bilans 24h ou ponctuels) sont similaires à débit Q1 (325 et 368 kgPt/an respectivement, Figure 64) mais différentes et nettement plus faibles à débit Q2 (201 et 112 kgPt/an).

A débit Q1, la rétention du Pt au sein du B1 n'est pas confirmée au regard des seuls bilans 24h, mais elle s'avère bien réelle lorsqu'on étudie les analyses des prélèvements ponctuels et les résultats mesurés à débit Q2. Ainsi, sur le B1, il est observé une rétention du Pt de l'ordre de 31 % en moyenne à débit Q1 : cela est dû au phénomène de décantation des MES par piégeage du Porg, lié aux particules dans les sédiments. Ce phosphore particulaire se minéralise et enrichit plus ou moins la fraction dissoute en PO₄³⁻. Ainsi, les charges entrantes et sortantes du B1 sont considérées comme équivalentes. En effet, aucune variation significative des concentrations en P-PO₄³⁻ n'est constatée sur ce bassin. La variabilité de cette minéralisation, dépendante des conditions physicochimiques, explique les écarts observés entre les diverses méthodes de calcul de charges en PO₄³⁻.

A débit Q2, des dépôts sont désormais présents dans le B2, soit par transfert depuis le B1, soit du fait des débris de végétaux en dégradation. Il est possible que ces mécanismes de transfert d'un bassin vers le suivant annulent les effets positifs de la décantation.

A la sortie du B2, les charges en Pt sont nettement plus basses qu'en entrée de ZRV. Toutefois, les diminutions au sein de ce bassin varient fortement selon la période étudiée et les méthodes de calculs utilisées.

L'analyse de l'évolution des fractions dissoute (PO₄) et particulaire (assimilée au Porg) est conduite pour mieux cerner les mécanismes principalement mis en jeu. Les paramètres PO₄³⁻ et Pt sont mesurés par les analyses de laboratoire, et les MES sont mesurées en continu par des sondes de turbidité ; ainsi le phosphore organique Porg peut être calculé de 2 façons distinctes :

- soit par différence entre les concentrations mesurées en Pt et en P-PO₄³⁻ ;

- soit à partir des concentrations en MES, sur la base d'un ratio calculé et définissant la proportion de Porg dans les MES.

En entrée de ZRV (Figure 64 des ANNEXES), les ordres de grandeurs calculés grâce aux prélèvements 24h ou ponctuels sont identiques (231 et 244 kgPorg/an à Q1, et 88 et 73 à kgPorg/an Q2) : le phosphore sous forme organique domine largement puisque 60 à 70 % du Pt serait présent sous cette forme.

Le bilan massique en phosphore au sein de la ZRV de Marguerittes est présenté en Figure 47 ; il est issu des analyses réalisées lors des bilans 24h et des prélèvements ponctuels.

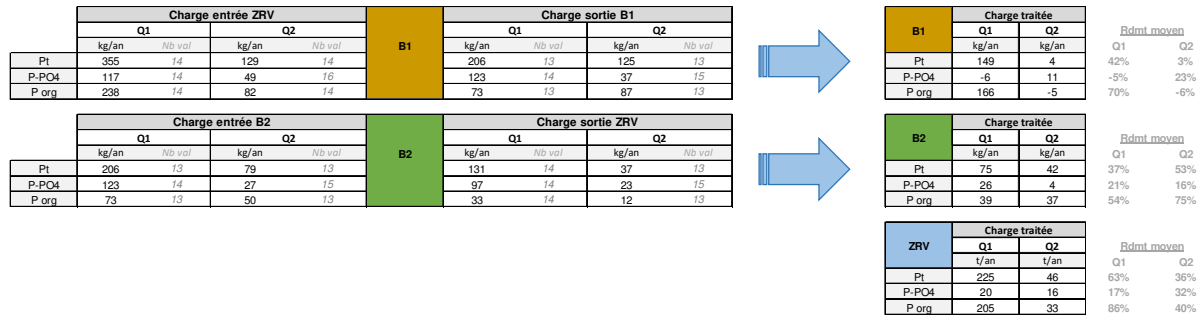


Figure 47 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en phosphore sur chaque compartiment de la ZRV, pour les mesures de type « bilans 24h + ponctuels », pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)

Sur la base de l'ensemble des données disponibles, on observe ainsi une chute d'environ 60 % du Pt à Q1 et 36 % à Q2, et dans une moindre mesure du PO₄³⁻ (17 et 32 %). Alors que peu de boues sont sédimentées dans ce bassin B2 à Q1, cela pourrait être éventuellement lié au prélèvement du phosphore par les végétaux (15 à 20 t de P-PO₄³⁻).

Il ressort ainsi qu'à Marguerittes la rétention du Pt sur l'ensemble de la ZRV serait d'environ 50 % (rendements moyens observés de 36 à 63 %).

Le phosphore particulaire, lié aux matières en suspension, est réduit d'environ 30 % dans le bassin 1 pour la période Q1; la diminution se poursuit dans le bassin 2. Cette fraction particulaire se minéralise progressivement en générant des orthophosphates. C'est pourquoi la réduction mesurée des PO₄³⁻ reste modeste, à peine 17 à 32 % mesurée en moyenne.

5. MICROPOLLUANTS DANS L'EAU

Cette partie synthétise les résultats en micropolluants dans l'eau au sein de la ZRV de Marguerittes obtenus pour le débit Q1. Le constat est réalisé à l'aide de deux méthodologies d'échantillonnage des eaux : par échantillonneur automatisé (pour les métaux et les micropolluants organiques) et aussi par échantillonnage passif intégré pour les micropolluants organiques. Un complément d'information est disponible en ANNEXES (n°3).

5.1 Rappels méthodologiques

5.1.1 Campagnes de prélèvement

La ZRV de Marguerittes est constituée de deux bassins principaux, B1 et B2. Des échantillons d'eau ont été prélevés lors de 4 campagnes en vue de l'analyse des micropolluants, au cours d'une ou 2 périodes successives de 24 h (selon les campagnes), et en différents points : entrée ZRV (Point 2), sortie B1 (Point 3), intermédiaire B2 - après la roselière (Point 6), intermédiaire B2 - zone libre à herbier (Point 9) et sortie ZRV (Point 12) comme indiqué sur la Figure 48.

Les échantillons prélevés lors des différentes campagnes sont présentés dans le Tableau 45. Les échantillons d'eau ont été prélevés le même jour en entrée et en sortie pour la campagne d'octobre 2013 et au cours de deux périodes successives de 24h lors des campagnes de mars et d'octobre 2015.



Figure 48 : Rappel de la localisation des points de prélèvements en vue de l'analyse des micropolluants.

Tableau 45 : Campagnes de prélèvements sur la ZRV (débit Q1) en vue de l'analyse des métaux et des micropolluants organiques.

Campagne	Durée (jours)	Points de prélèvement	Echantillonnage	Analyses métaux	Analyses micropolluants organiques
octobre 2013	1	1 - 2 - 3 - 12	Echt. automatisé + POCIS ¹	dissous	dissous, POCIS ¹
mars 2015	2	2 - 3 - 6 - 9 - 12	Echt. automatisé + POCIS ¹	dissous	dissous, POCIS ¹
juillet 2015	2	2 - 3 - 6 - 12	Echt. automatisé	-	dissous
octobre 2015	2	2 - 3 - 6 - 12	Echt. automatisé	dissous + particulaire au point 2	-

¹ : échantillonnage passif intégré (Polar Organic Contaminant Integrative Sampling)

5.1.2 Méthodes de prélèvement et d'analyse

En vue de l'analyse de micropolluants, du matériel spécifique utilisant bonbonnes en verre et tuyaux en Téflon nettoyés spécifiquement ont été utilisés pour limiter les contaminations possibles des échantillons (Eymery et al., 2011). Les prélèvements ont été réalisés sur 24h (moyens 24h asservis au débit) comme décrit pour les paramètres majeurs. Ce type d'échantillonnage concerne les 4 campagnes. Rapidement après le prélèvement (< 24h), les échantillons d'eaux ont été filtrés puis ils ont été analysés (fractions dissoute et particulaire le cas échéant) au laboratoire LAMA d'Irstea selon les méthodes présentées dans le Tableau 46.

En parallèle à ces échantillonnages d'eaux (moyens 24h), nous avons testé l'échantillonnage intégratif passif par POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Samplers) pour les micropolluants organiques. Les POCIS ont été immergés pendant 14 jours dans l'eau aux points 2 et 3 du bassin B1 et aux points 6, 9 et 12 du bassin B2. Ce type d'échantillonnage permet d'obtenir une concentration intégrée sur la durée d'exposition (14 j ici) plus représentative dans le temps qu'une concentration moyennée sur 24h. A noter que le temps de résidence dans la ZRV est de 2 à 3 jours (1 à 1,5 j par bassin). Ce type d'échantillonnage a été mis en œuvre en Octobre 2013 et Mars 2015.

Au total, 24 métaux et 37 micropolluants organiques ont été analysés dont plusieurs substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau (certains métaux, pesticides) et des substances pharmaceutiques (bêtabloquants, antibiotiques, anti-inflammatoires). Les substances analysées ont été choisies en fonction de leur occurrence dans les eaux traitées, de leurs propriétés physico-chimiques, de leur toxicité et de la législation, mais également de la disponibilité d'une méthode analytique fiable. Des protocoles d'analyses robustes aux très faibles concentrations ont été mis en œuvre, et les analyses ont été menées sur la phase dissoute compte-tenu du très faible niveau de concentrations en matières en suspension. Les performances des méthodes d'analyses ont été établies en termes de limite de quantification (quelques nanogrammes ou microgrammes par litre), de rendement d'extraction, de répétabilité, de reproductibilité et de précautions vis-à-vis des effets matrice (ex. : étalons internes, échantillons témoins par dopages en concentrations connues). La classification des substances dans la réglementation en vigueur est précisée en note du Tableau 46.

En ce qui concerne les performances des méthodes dans les échantillons d'eau, les limites de quantification (LQ) sont comprises entre 0,01 et 8 µg/L pour les métaux, et entre 0,04 et 1,0 ng/L pour les micropolluants organiques. On estime que l'incertitude sur les concentrations est inférieure à 30% lorsque la concentration est supérieure à 5 fois la limite de quantification (LQ) ; elle est comprise entre 50 et 100% pour les concentrations comprises entre 1 et 5×LQ (Choubert et al., 2015).

Pour la campagne de mars 2015, une seule méthode d'analyse des micropolluants organiques caractérisée par de faibles limites de quantification (méthode récemment mise au point par l'équipe LAMA d'Irstea, couvrant des substances pharmaceutiques et pesticides d'origine urbaine) a été mise en œuvre. Cette méthode n'était cependant pas disponible lors de la campagne d'octobre 2013. Ainsi, lors de cette 1^{ère} campagne, l'analyse de 10 bêtabloquants a été réalisée par l'équipe LAMA d'Irstea ; les pesticides ont été analysés par le Laboratoire LDA26 par une méthode multi-résidus qui ne permettait pas d'atteindre des limites de quantification très faibles. Les micropolluants organiques communs aux deux campagnes sont indiqués dans le Tableau 46.

Lors de la campagne d'octobre 2015, seuls les métaux ont été analysés. Aux points 3, 6 et 12, seule la phase dissoute a été analysée, alors que pour le point 2, les analyses ont été réalisées sur les phases dissoute et particulaire. Les LQ obtenues dans la phase particulaire sont comprises entre 0,004 et 0,60 µg/L et les incertitudes analytiques appliquées sont les mêmes que celles de la phase dissoute.

Tableau 46 : Micropolluants analysés, méthodes analytiques et limites de quantification.

Familles (nombre par famille)	Micropolluants	Préparation/ Extraction + techniques analytiques	Limites de quantification dans les échantillons d'eau (LQ)
Métaux (24)	Li, B, Al, Ti, V, Cr ^(b) , Mn, Fe, Co, Ni ^(a) , Cu ^(b) , Zn ^(b) , As ^(b) , Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd ^(a) , Sn, Sb, Ba, Pb ^(a) , U	Min. MO + ICP-MS	Dissous : 0,010 à 8 µg/L Particulaire : 0,004 à 0,60 µg/L
Pesticides et métabolites (8)	<u>atrazine</u> ^(a) , <u>diuron</u> ^(a) , <u>imidaclopride</u> ^(c) , <u>isoproturon</u> ^(a) , pirimicarb, <u>simazine</u> ^(a) , diméthoate ^(f) , désisopropylatrazine (DIA), déséthylatrazine (DIA) ^(d)	SPE + LC-MS/MS	0,1 à 0,4 ng/L
Médicaments (27)			
Antibiotiques (5)	clarithromycine ^(c) , érythromycine ^(c) , métronidazole, sulfaméthoxazole, triméthoprim	SPE + LC-MS/MS	0,1 à 0,4 ng/L
Antidépresseurs (3)	amitriptyline, fluoxétine ^(d) , ofloxacine ^(f) ,	SPE + LC-MS/MS	0,4 à 1,0 ng/L
Bétabloquants (5)	<u>acébutolol</u> ^(e,f) , <u>aténolol</u> ^(e) , <u>métoprolol</u> , <u>propranolol</u> , <u>sotalol</u>	SPE + LC-MS/MS	0,1 à 0,4 ng/L
Anti-inflammatoires (3)	diclofénac ^(c,e) , kétoprofène, théophylline	SPE + LC-MS/MS	0,1 à 1,0 ng/L
Hypolipémiant (1)	acide fénofibrique ^(d) , gemfibrozil ^(f)	SPE + LC-MS/MS	0,02 à 1,0 ng/L
Anticancéreux (1)	cyclophosphamide	SPE + LC-MS/MS	0,4 ng/L
Antiépileptique (1)	carbamazépine ^(e)	SPE + LC-MS/MS	0,2 ng/L
Bronchodilatateur (1)	salbutamol ^(d)	SPE + LC-MS/MS	0,2 ng/L
Anxiolytiques (4)	alprazolam, diazépam, nordiazépam, oxazépam	SPE + LC-MS/MS	0,1 à 0,2 ng/L
Métabolites (3)	3,4-dichloroaniline ^(d) , acétylsulfaméthoxazole, carbamazépine-EP	SPE + LC-MS/MS	0,01 à 0,2 ng/L

(a) : Substances prioritaires (directive 2013/39/UE) ; (b) : Substances de l'état écologique (arrêté du 25 janvier 2010) ; (c) : substance de la liste de vigilance (Décision d'exécution 2015/495/UE) ; (d) : Substances inexploitable dans les POCIS ; (e) Substances hors gamme dans les POCIS ; (f) : Substances inexploitable dans les eaux. **SPE** : Extraction sur phase solide ; **Min.MO** : Minéralisation dans un four à micro-onde ; **LC-MS/MS** : Chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem ; **ICP-MS** : Spectromètre de masse couplé à un plasma inductif. **Souligné** : Micropolluants organiques communs aux campagnes de mars 2015 et octobre 2013.

5.2 Concentrations en métaux mesurées aux différents points de la ZRV

5.2.1 Fréquences de quantification et variabilité (journalière et inter-campagnes)

5.2.1.1 Fréquences de quantification

Dans la fraction dissoute :

Sur les 3 campagnes réalisées sur la ZRV de Marguerittes, 22 métaux (parmi les 24 recherchés) ont été quantifiés au moins une fois dans la fraction dissoute aux points 2, 3 du bassin B1 et en sortie de ZRV (point 12). Les 2 métaux qui n'ont jamais été quantifiés sont Ag et Sn.

La majorité des métaux analysés (16 sur 24) ont été quantifiés à 100 % sur ces 3 points de prélèvement. Les métaux quantifiés à une fréquence moindre incluent :

- Al qui est quantifié à 100 % aux points 2 et 3, puis à 40 % au point 12 ;
- Cd qui est quantifié seulement sur la 1^{ère} campagne à la LQ (LQ = 0,01 µg/L) ;
- Mo qui est quantifié à 40, 60 et 80 % aux points 2, 3 et 12 respectivement ;
- Sb qui est quantifié sur 60 % des prélèvements et
- Se qui est quantifié dans 80 à 100 % des échantillons selon les points de prélèvement.

Dans la fraction particulaire :

La fraction particulaire a été analysée uniquement au point 2 de la ZRV sur la campagne d'octobre 2015. Parmi les 24 métaux analysés, 15 sont quantifiés à 100 % sur les 2 jours de prélèvement et Cd a été quantifié seulement le 1^{er} jour.

Les éléments jamais quantifiés dans la fraction particulaire sont Ag, As, Li, Mo, Sb, Se, U et V ; de plus, As, Li, U et V sont quantifiés uniquement dans la fraction dissoute. Au contraire, Sn est quantifié à 100 % dans la fraction particulaire, alors qu'il n'est pas retrouvé dans le dissous.

Le détail des résultats obtenus pour les fréquences de quantification dissous et particulaire est disponible en ANNEXES (n°3) (Figure 65 et Figure 66).

5.2.1.2 Variabilité journalière et inter-campagnes

Le Tableau 47 présente les concentrations moyennes dissoutes en µg/L des métaux obtenues aux points 2, 3 du bassin B1 et en sortie de ZRV (point 12) sur les 3 campagnes (octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015), la variabilité journalière et la variabilité inter-campagnes.

La variabilité journalière (%RPD) a été calculée pour chaque point des campagnes de mars et octobre 2015 selon la formule :

$$\%RPD = \frac{\text{abs}(\text{concentration J1} - \text{concentration J2})}{\text{moyenne}(\text{concentration J1}, \text{concentration J2})} \times 100$$

La variabilité inter-campagnes (% RSD) a été calculée selon la formule :

$$\%RSD = \frac{\text{écart type (conc. C1, conc. J1C2, conc. J2C2, conc. J1C3, conc. J2C3)}}{\text{moyenne (conc. C1, conc. J1C2, conc. J2C2, conc. J1C3, conc. J2C3)}} \times 100$$

Tableau 47 : Concentrations moyennes en µg/L des métaux dissous en entrée (point 2), sortie B1 (point 3) et sortie de la ZRV (point 12) avec la variabilité journalière (% RPD) et la variabilité inter-campagnes (% RSD). Les valeurs supérieures à 30 % sont signalées en jaune.

POINT 2 - entrée ZRV	C1 - octobre 2013	C2 - mars 2015		C3 - octobre 2015		Variabilité inter-campagnes	
		J1 (µg/L)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne C1/C2/C3 (µg/L)
Li	4.49	4.78	6.6	4.30	3.3	4.53	6.0
B	89.1	114.0	0.0	130.2	10.0	115.5	15.1
Al	5.89	4.90	0.0	4.77	18.2	5.04	11.2
Ti	2.20	1.53	3.9	2.17	25.8	1.92	21.3
V	1.12	0.690	2.3	0.843	41.9	0.837	25.7
Cr	0.385	0.163	15.4	0.301	5.1	0.262	37.3
Mn	25.3	22.4	0.4	29.7	37.9	25.9	21.0
Fe	114.3	46.7	3.6	84.3	3.6	75.3	38.4
Co	0.548	0.592	9.6	0.649	15.9	0.606	9.9
Ni	1.03	0.962	7.9	0.928	12.6	0.962	6.7
Cu	1.12	0.742	0.5	1.49	64.7	1.12	45.4
Zn	9.38	13.25	8.8	17.4	1.5	14.1	24.1
As	0.248	0.200	10.0	0.319	17.9	0.257	24.6
Se	<LQ	0.245	7.3	0.370	25.9	0.307	26.8
Rb	18.8	11.4	0.0	11.8	11.4	13.0	25.0
Sr	595.1	non analysé		444.2	11.6	494.5	18.4
Mo	<LQ	<LQ		0.319	47.1	0.319	33.3
Ag	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Cd	0.011	<LQ		<LQ		0.011	
Sn	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Sb	0.408	<LQ		0.316	14.3	0.347	16.6
Ba	15.1	13.7	0.0	8.01	7.5	11.7	29.2
Pb	0.043	0.054	13.1	0.048	14.5	0.049	11.4
U	1.26	1.45	1.3	0.601	30.6	1.07	41.3
POINT 3 - sortie B1	C1 - octobre 2013	C2 - mars 2015		C3 - octobre 2015		Variabilité inter-campagnes	
Elément	J1 (µg/L)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne C1/C2/C3 (µg/L)	RSD (%)
Li	4.55	4.78	1.8	4.72	1.5	4.71	2.2
B	77.8	112.5	2.7	117.0	10.3	107.4	16.1
Al	3.53	2.70	37.0	4.65	2.2	3.65	28.5
Ti	1.88	1.49	46.5	1.50	8.0	1.57	19.3
V	0.985	0.663	0.5	0.905	3.3	0.824	18.4
Cr	0.360	0.134	5.2	0.258	3.5	0.228	42.2
Mn	23.2	21.5	49.9	21.4	17.3	21.8	18.8
Fe	88.3	63.1	29.3	94.4	18.3	80.6	23.0
Co	0.599	0.543	8.8	0.593	5.6	0.574	6.1
Ni	1.10	1.03	8.0	0.885	3.4	0.985	10.2
Cu	1.15	0.668	20.4	1.33	11.3	1.03	33.4
Zn	10.2	9.28	2.9	11.6	15.5	10.4	12.8
As	0.315	0.214	20.1	0.294	10.6	0.266	19.6
Se	0.204	0.256	1.2	0.284	19.0	0.257	14.8
Rb	19.0	11.0	10.9	12.0	1.7	13.0	26.2
Sr	596.3	non analysé		448.0	2.7	497.4	17.3
Mo	<LQ	0.214		0.358	2.8	0.310	26.9
Ag	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Cd	0.011	<LQ		<LQ		0.011	
Sn	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Sb	0.401	<LQ		0.335	0.3	0.357	10.8
Ba	11.7	17.9	0.0	7.20	5.6	12.4	43.3
Pb	0.070	0.058	3.4	0.042	21.7	0.054	23.6
U	1.32	1.70	4.7	0.671	4.3	1.21	42.7
POINT 12 - sortie ZRV	C1 - octobre 2013	C2 - mars 2015		C3 - octobre 2015		Variabilité inter-campagnes	
Elément	J1 (µg/L)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne J1/J2 (µg/L)	RPD (%)	Moyenne C1/C2/C3 (µg/L)	RSD (%)
Li	4.72	4.70	8.4	5.19	5.6	4.90	6.4
B	75.6	110.0	1.8	120.0	3.3	107.1	17.1
Al	2.07	<LQ		2.20		2.13	4.4
Ti	1.33	0.915	9.8	1.38	9.5	1.18	21.2
V	0.896	0.813	6.3	0.820	14.6	0.832	7.0
Cr	0.280	0.100	17.1	0.214	10.3	0.181	44.1
Mn	3.12	1.47	16.3	6.52	56.0	3.82	74.9
Fe	44.4	14.1	3.6	56.6	29.0	37.1	60.4
Co	0.646	0.419	11.2	0.555	9.7	0.519	19.6
Ni	1.39	0.916	2.6	1.01	2.0	1.05	18.7
Cu	1.39	0.684	29.2	0.745	1.3	0.850	36.7
Zn	9.75	6.63	3.5	5.30	0.6	6.72	27.1
As	0.676	0.256	0.8	0.420	6.7	0.406	42.5
Se	0.224	0.213		0.251	7.2	0.235	8.8
Rb	19.3	10.4	3.8	14.2	6.4	13.7	26.8
Sr	620.9	non analysé		494.5	3.0	536.6	13.7
Mo	<LQ	0.222	4.1	0.356	11.0	0.289	27.4
Ag	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Cd	0.014	<LQ		<LQ		0.014	
Sn	<LQ	<LQ		<LQ		<LQ	
Sb	0.408	<LQ		0.323	2.5	0.351	14.0
Ba	16.4	7.45	9.4	10.4	3.8	10.4	35.0
Pb	0.121	0.071	11.3	0.063	27.2	0.078	32.9
U	1.27	1.53	3.6	1.11	9.0	1.31	16.5

La variabilité des concentrations J1/J2 est en moyenne de 11 % sur les 3 points de prélèvements réalisés sur la ZRV lors des campagnes de mars et octobre 2015 et un nombre relativement faible de métaux ont des RPD supérieurs à 30 % (3 en mars 2015 et 6 en octobre 2015).

En entrée de la ZRV (point 2), le RPD moyen obtenu sur la campagne de mars 2015 est de 5 % avec un maximum obtenu pour Cr à 15 % ; sur la campagne d'octobre 2015, le RPD moyen est de 20 % et 5 métaux ont un RPD supérieur à 30 % (Cu, Mn, Mo, U et V). En effet, lors de la campagne d'octobre 2015, une forte pluie a eu lieu la veille de J1, ce qui peut expliquer cette plus forte variabilité journalière observée.

En sortie de B1 (point 3), les résultats de la campagne de mars 2015 sont plus variables que ceux d'octobre 2015. Le RPD moyen obtenu en mars 2015 est de 14 % et Al, Mn et Ti ont une variation journalière supérieure à 30 % (entre 37 et 50 %) ; en octobre 2015, le RPD moyen est de 8 % avec un maximum de 22 % pour Pb.

La sortie de la ZRV (point 12) présente une variabilité journalière moyenne de 8 % pour la campagne de mars 2015 avec un maximum de 29 % obtenu pour Cu. Cette variabilité moyenne est de 11 % pour la campagne d'octobre 2015 avec un maximum de 56 % pour Mn.

La variabilité inter-campagnes (RSD) est comparable entre les 3 points de prélèvement : elle est en moyenne de 23 % pour le point 2, 22 % pour le point 3 et 26 % pour le point 12.

En entrée de la ZRV (point 2), 5 métaux ont une variabilité supérieure à 30 % (Cr, Cu, Fe, Mo et U avec un RSD compris entre 33 et 45 %) ; au point 3, les éléments les plus variables (RSD compris entre 33 et 43 %) sont Ba, Cr, Cu et U ; et enfin, au point 12, 7 métaux sur 24 ont un RSD supérieur à 30 % (As, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn et Pb avec un RSD compris entre 33 et 75 %).

De plus, la variabilité inter-campagnes est supérieure à 30 % pour les 3 points de prélèvement pour Cr et Cu, bien que leur concentration soit supérieure à $5 \times \text{LQ}$.

5.2.2 Concentrations en entrée de la ZRV (point 2)

5.2.2.1 Répartition dissous/particulaire

Lors de la campagne d'octobre 2015, les métaux ont été analysés dans les fractions dissoute et particulaire en entrée de la ZRV (point 2). Lorsqu'un élément a été quantifié dans ces 2 fractions, il a été possible de calculer son pourcentage de fraction dissoute (f_{diss}) afin de vérifier dans quelle phase il se trouvait majoritairement. Ce calcul a été possible pour 14 métaux sur 24 et est présenté dans la Figure 49. Le % de fraction dissoute est plus important en J1 qu'en J2 notamment pour des métaux comme Al, Pb, Fe qui se situent en gamme intermédiaire en J1 ($30 \% < f_{\text{diss}} < 70 \%$), alors qu'ils sont présents majoritairement en phase particulaire en J2 ($f_{\text{diss}} < 30 \%$). Cette différence peut s'expliquer par une concentration en MES différente entre J1 et J2 : pour J1, la concentration en MES mesurée était de 3 mg/L alors qu'elle était de 9 mg/L pour J2 ($\text{LQ} = 2 \text{ mg/L}$). Une pluie importante tombée la veille de J1 constitue un élément d'explication à la fois de la plus grande dilution des échantillons mais aussi de la présence des métaux majoritairement en phase dissoute.

La répartition dissous/particulaire obtenue pour J2 est comparable avec celle obtenue dans le projet AMPERES (Coquery et al., 2011) pour Al, Pb, Fe, B et Rb. Mn et Sr n'ont pas été analysés dans le projet AMPERES, les résultats obtenus pour ces 2 éléments ne peuvent donc pas être comparés. Pour les autres éléments, les % f_{diss} retrouvés en entrée de la ZRV sont plus importants que ceux retrouvés dans le projet AMPERES. Etant donné que la concentration en MES mesurée à ce point de prélèvement est faible, il y a peu de matière disponible pour l'analyse et les éléments sont donc analysés à des concentrations faibles.

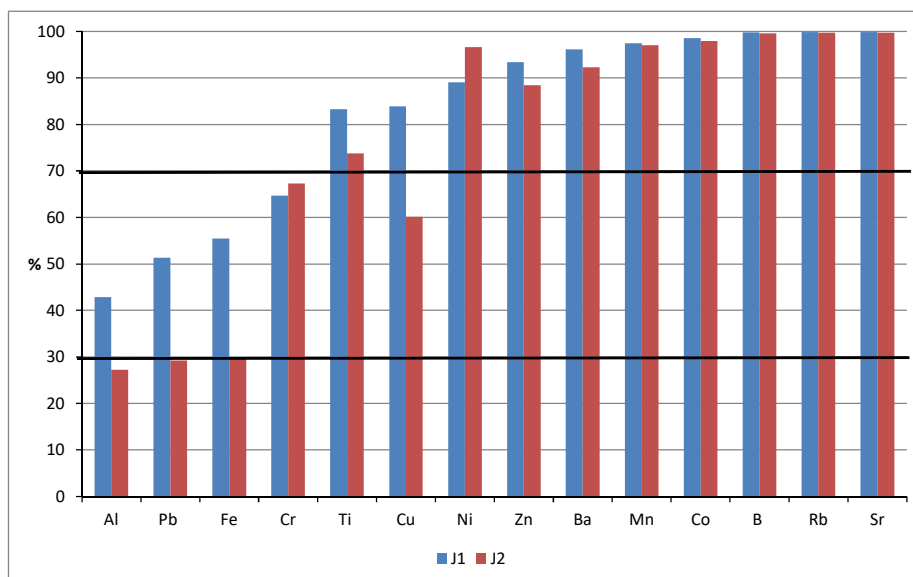


Figure 49 : Pourcentage de fraction dissoute (% f_{diss}) des métaux en entrée de la ZRV (point 2) lors de la campagne d'octobre 2015 ; classement par % f_{diss} en J1 croissant.

La plupart des métaux (10 sur 14) sont majoritairement présents sous forme dissoute ($f_{diss} > 70\%$), les rendements d'élimination calculés ci-après l'ont été uniquement sur la phase dissoute. Pour les métaux présents majoritairement sous forme particulaire en J2 (Al, Pb et Fe), la concentration totale en entrée de la ZRV a tout de même été prise en compte dans l'interprétation des rendements d'élimination pour les métaux (voir partie 5.4).

5.2.2.2 Comparaison des résultats ZRV avec ceux d'AMPERES et d'ARMISTIQ

Afin de caractériser l'entrée de la ZRV de la campagne d'octobre 2015 en terme de concentrations totales en métaux, nous avons comparé ces résultats avec des eaux de sorties secondaires de stations à boues activées à aération prolongée analysées dans les projets AMPERES et ARMISTIQ. Concernant le projet AMPERES, 22 métaux ont été analysés dans 23 échantillons d'eaux prélevés dans 10 stations différentes (dont 3 avec ajout de $FeCl_3$) ; et pour le projet ARMISTIQ, ce sont 11 métaux qui ont été analysés dans 4 échantillons prélevés sur la même station au cours d'une année. La Figure 50 présente les résultats des concentrations totales obtenus pour les 3 projets. Les éléments sont classés par concentrations décroissantes obtenues en entrée de la ZRV Marguerittes. Les concentrations en Mn et Sr ne sont pas représentées car ces 2 éléments ont été analysés uniquement sur la ZRV de Marguerittes.

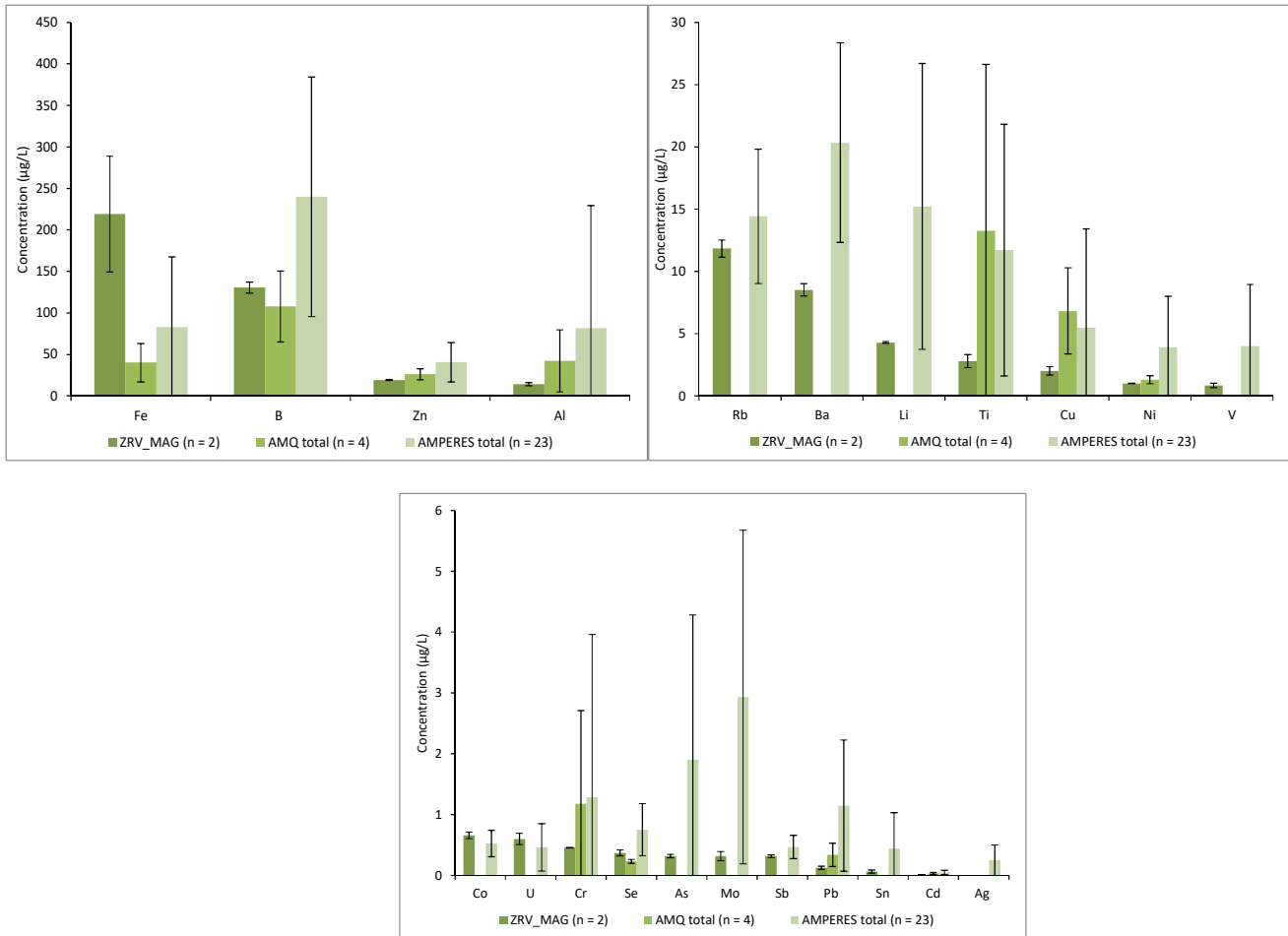


Figure 50 : Concentrations moyennes en métaux totaux (µg/L) en entrée ZRV Marguerittes (n = 2, les barres d'erreurs correspondent à l'écart moyen calculé entre les 2 valeurs), sortie traitement secondaire boue activée à aération prolongée du projet ARMISTIQU (AMQ, n = 4) et sortie traitement secondaire boue activée à aération prolongée AMPERES (n = 23). Les éléments sont classés par concentrations décroissantes mesurées à Marguerittes.

Les concentrations moyennes totales obtenues en entrée de la ZRV sont inférieures à celles obtenues dans les projets AMPERES et ARMISTIQU pour 20 métaux sur 23. Les différences de concentration varient de 20 % pour Rb par exemple qui a une concentration moyenne d'environ 12 µg/L en entrée de la ZRV alors qu'elle est en moyenne de 14 µg/L dans le projet AMPERES, à plus de 800 % pour Pb avec en moyenne 0,13 µg/L en entrée de la ZRV, 0,34 µg/L dans le projet ARMISTIQU et 1,15 µg/L dans le projet AMPERES.

La concentration moyenne de Co et U est environ 20 % plus élevée en entrée de la ZRV en comparaison aux résultats obtenus dans le projet AMPERES ; néanmoins, la variation de ces 2 éléments dans ce projet est très importante (RSD = 42 % pour Co et 84 % pour U), ce qui rend ces différences difficilement exploitables.

Enfin, la concentration en Fe en entrée de la ZRV est en moyenne 60 % plus importante que dans le projet AMPERES et 80 % plus importante que dans le projet ARMISTIQU. Cette différence est certainement liée à l'ajout de FeCl₃ dans le procédé de traitement de la station de Marguerittes ; ce produit n'était pas ajouté dans la station suivie sur ARMISTIQU et dans seulement 3 stations suivies sur 10 dans le projet AMPERES.

5.2.3 Evolution des concentrations dissoutes dans la ZRV

Le Tableau 48 présente l'évolution moyenne des concentrations en métaux dissous pour les 3 campagnes de prélèvements tout d'abord dans le B1 (entre les points 2 et 3 de la ZRV), puis entre l'entrée et la sortie de la ZRV (points 2 et 12).

Tableau 48 : Synthèse de l'évolution moyenne (%) des concentrations en métaux dissous dans le B1 et entre l'entrée et la sortie de la ZRV (B1 + B2).

	Evolution moyenne B1 entre points 2 et 3 (%)	Evolution moyenne B1 + B2 entre points 2 et 12 (%)
Ag		
B		
Ba		
Cd		
Co		
Cr		
Cu		
Li		
Mo		
Ni		
Rb		
Sb		
Se		
Sn		
Sr		
U		
V		
Al	30	60
Fe		50
Mn		85
Ti		40
Zn	25	50
As		-60
Pb		-60

variations obtenues plus faibles que la variabilité obtenue entre les échantillons et/ou plus faible que l'incertitude analytique.

Code couleur utilisé : **blanc** : variation entre les points de prélèvement inférieure à la variabilité inter-campagnes et/ou à l'incertitude analytique ; **vert** : variation entre les points de prélèvement supérieure à la variabilité inter-campagnes et/ou à l'incertitude analytique et diminution significative entre l'entrée et la sortie de la ZRV ; **orange** : variation entre les points de prélèvement supérieure à la variabilité inter-campagnes et/ou à l'incertitude analytique et augmentation significative entre l'entrée et la sortie de la ZRV.

Cette analyse est différente de l'étude des rendements d'élimination qui est présentée plus loin, car son objectif est d'observer l'évolution moyenne des concentrations en métaux au sein des différents bassins, plutôt que d'établir une liste de métaux plus ou moins bien éliminés par la ZRV. Pour cela, 3 catégories d'éléments ont été identifiés :

- tout d'abord, la catégorie représentée en blanc dans le Tableau 48 qui représente la majorité des métaux analysés (17 sur 24) pour laquelle l'évolution moyenne au sein de la ZRV est négligeable ; c'est-à-dire que cette évolution, s'il y en a une, est inférieure à l'incertitude analytique de l'élément et inférieure à la variabilité inter-campagnes calculée.

- ensuite, la catégorie verte composée des métaux Al, Fe, Mn, Ti et Zn et dont l'incertitude analytique et la variabilité inter-campagnes sont plus faibles que la différence de concentration observée. Au sein du B1, cette évolution moyenne significative concerne seulement Al et Zn ; en revanche, l'évolution moyenne des concentrations pour Fe, Mn et Ti n'est pas significative et ces 3 éléments sont dans la catégorie en blanc pour ce bassin. Entre les points 2 et 12 de la ZRV (B1+B2), la concentration moyenne dissoute pour ces 5 métaux diminue de 40 à 85 % selon l'élément.

La Figure 51 représente les concentrations dissoutes pour ces 5 éléments pour chaque jour de prélèvement aux différents points de la ZRV. Ces éléments métalliques sont facilement adsorbables, il est donc logique que leur concentration dissoute diminue le long de la ZRV : ils ont pu soit s'adsorber sur les particules qui décantent dans les bassins, soit être adsorbés par les racines des végétaux présents dans la ZRV. Les concentrations en Al sont comprises entre $< LQ$ et $2 \times LQ$, alors que celles des 4 autres éléments sont supérieures à $5 \times LQ$.

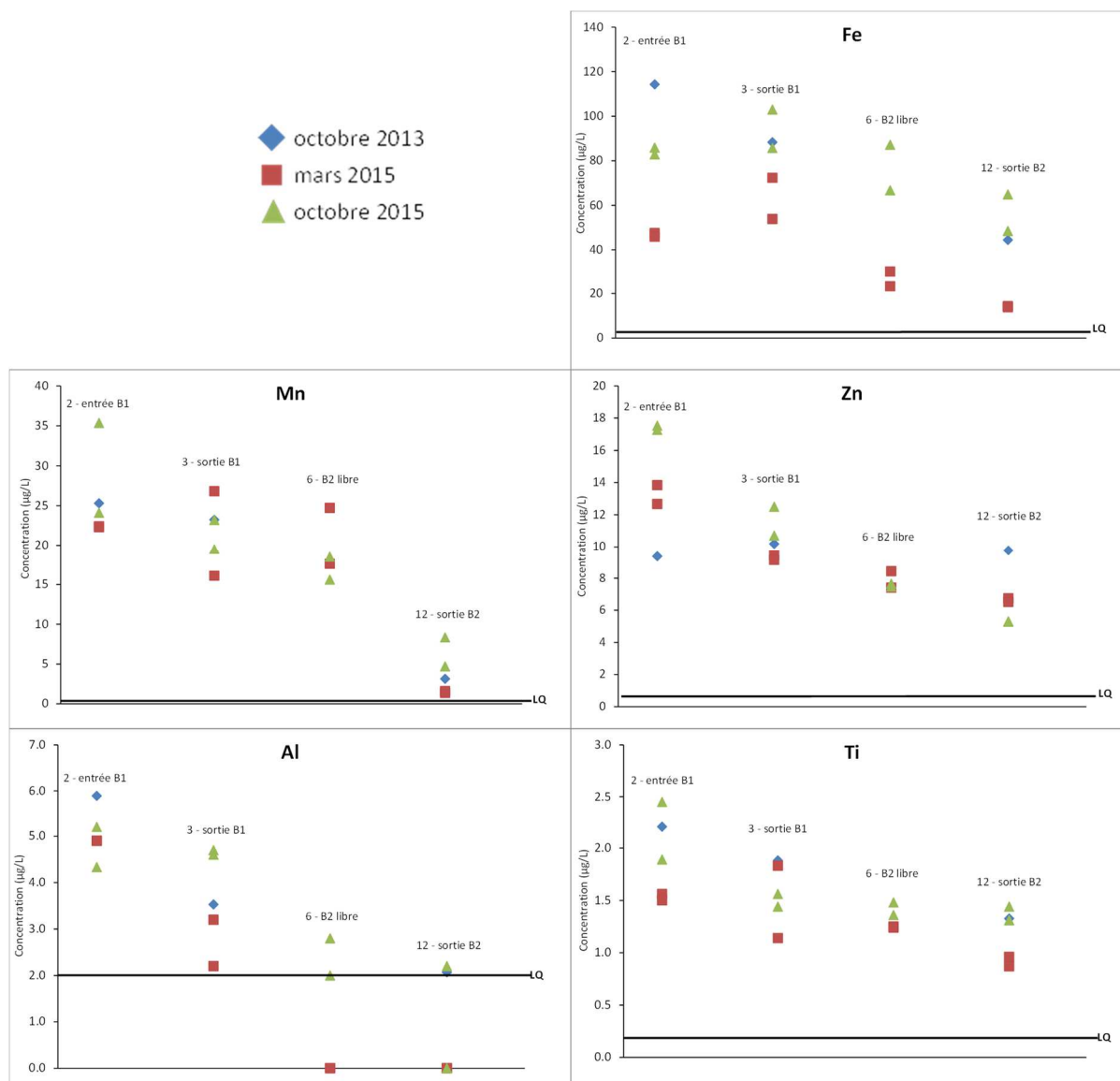


Figure 51 : Concentrations en Fe, Mn, Zn, Al et Ti dissous ($\mu\text{g/L}$) aux points 2, 3, 6 et 12 de la ZRV pour les campagnes d'octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015 avec les LQ associées. Les graphiques sont classés par ordre de concentrations décroissantes retrouvées en entrée de ZRV.

- enfin, la catégorie orange dans le Tableau 48 est constituée d'As et Pb et correspond aux éléments dont l'évolution moyenne dissoute est supérieure à l'incertitude analytique et à la variabilité inter-campagnes. Cette évolution n'est pas significative dans le B1, mais elle l'est pour les points 2 et 12 de la ZRV (B1+B2). Si on tient compte de tous les points de prélèvement, la concentration en As dissous augmente de 60 % en moyenne entre l'entrée et la sortie de la ZRV avec des concentrations supérieures à $5 \times LQ$ et la concentration dissoute moyenne en Pb augmente elle aussi de 60 % avec des concentrations inférieures à $5 \times LQ$. Comme le montre la Figure 52, la valeur mesurée en sortie de ZRV en octobre 2013 est importante et isolée ; elle influence grandement cette analyse concluant en une augmentation des concentrations en As et Pb au sein de la ZRV. Sans ce point, les concentrations moyennes dissoutes en As entre les points 2 et 12 de la ZRV (B1+B2) augmenteraient de 30 %, ce qui

équivalent à la variabilité inter-campagnes calculée sans ce même point et placerait donc As dans la catégorie blanche (variabilité inter-campagnes négligeable vis-à-vis des autres sources de variabilité). Pour Pb, sans le point 12 d'octobre 2013, la concentration augmenterait de 35 %, l'élément passerait aussi dans la catégorie blanche, car cette évolution moyenne est inférieure à l'incertitude analytique à ce niveau de concentration.

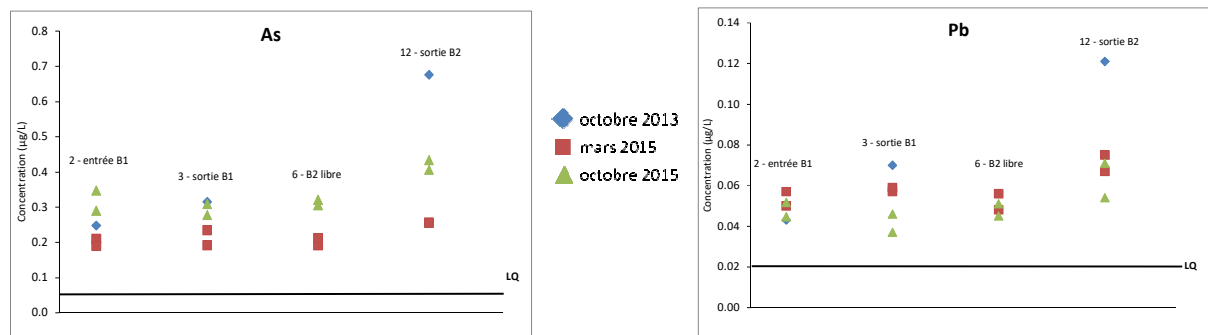


Figure 52 : Concentrations en As et Pb dissous ($\mu\text{g/L}$) aux points 2, 3, 6 et 12 de la ZRV pour les campagnes d'octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015 avec les LQ associées. Les graphiques sont classés par ordre de concentrations décroissantes retrouvées au point 2.

5.3 Concentrations en micropolluants organiques mesurées aux différents points de la ZRV

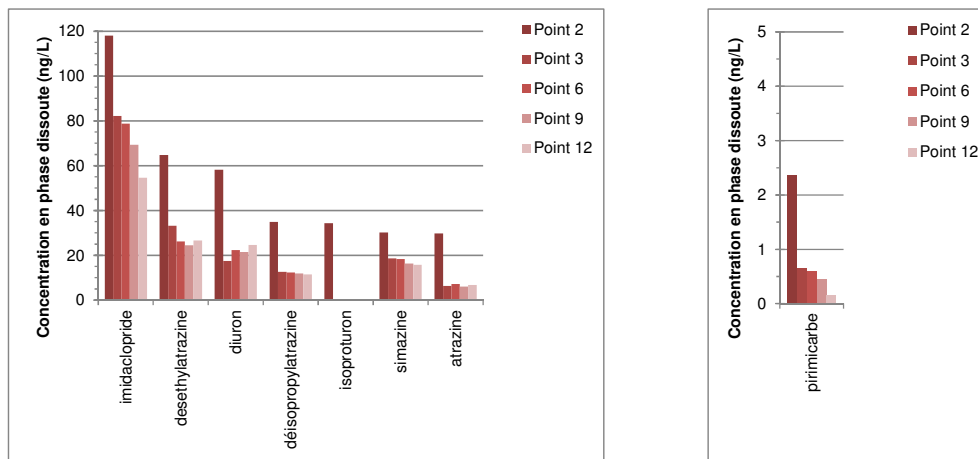
Les résultats présentés dans cette partie concernent la campagne de mars 2015, la plus complète, et aborde à la fois les résultats obtenus avec l'échantillonnage automatique et l'échantillonnage intégratif. Les résultats des autres campagnes sont présentés séparément en Annexe 4, notamment car la liste de micropolluants organiques était beaucoup plus restreinte en mars 2013 (Cf. Tableau 46) et, que les végétaux flottants (lentilles) recouvraient les bassins en juillet 2015, limitant fortement la photodégradation. La partie suivante (5.4) présente une analyse comparée intégrant toutes les campagnes.

5.3.1 Concentrations en micropolluants organiques. Exemple de la campagne de mars 2015 – Echantillonnage moyen 24 heures d'eaux

Les Figure 53 et Figure 54 présentent les concentrations (phase dissoute) en micropolluants organiques (pesticides et médicaments) mesurées dans les échantillons prélevés aux différents points de la ZRV de Marguerittes le jour 1 et le jour 2. Les micropolluants quantifiés sont classés par concentrations décroissantes.

Pesticides

Jour 1



Jour 2

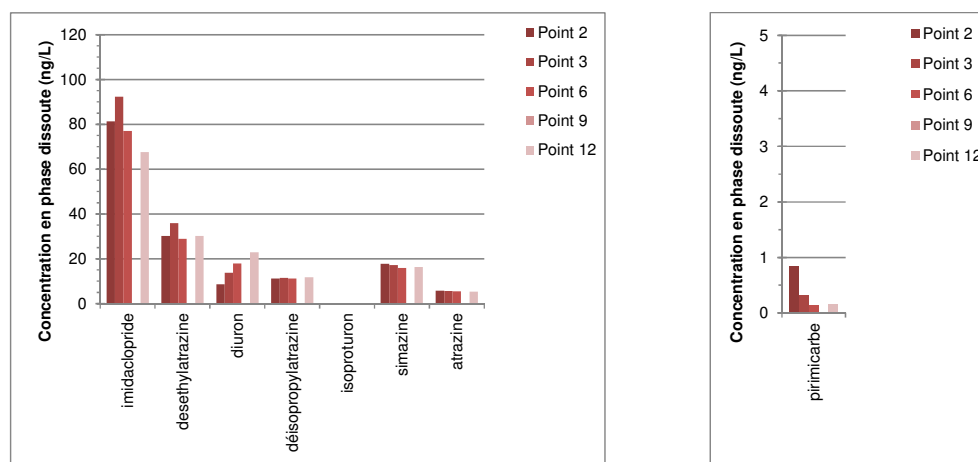
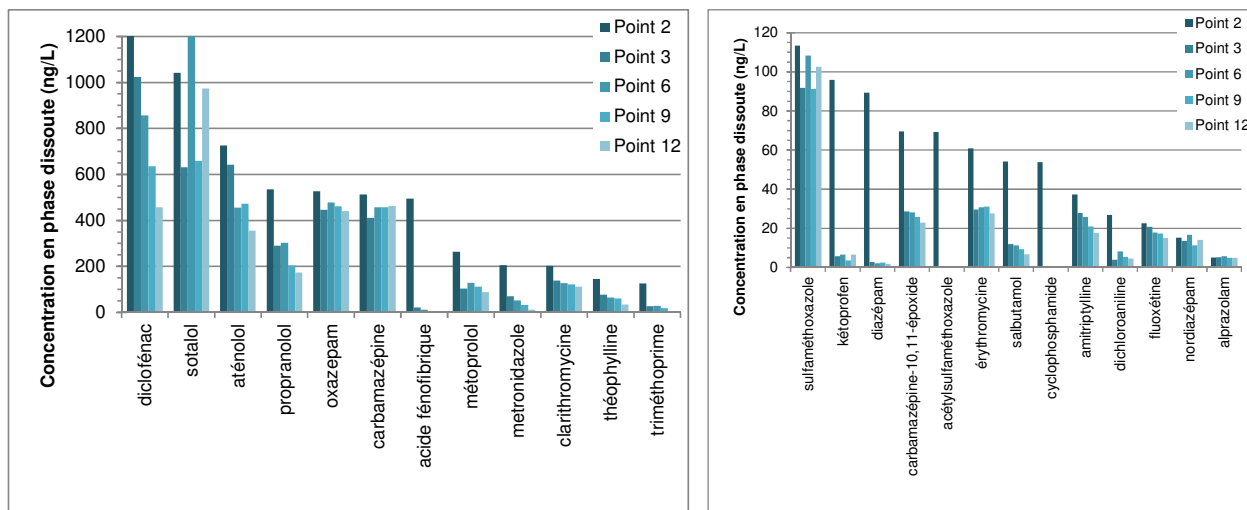


Figure 53 : Concentrations (phase dissoute) en pesticides mesurées sur les échantillons moyens 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (mars 2015).

Médicaments

Jour 1



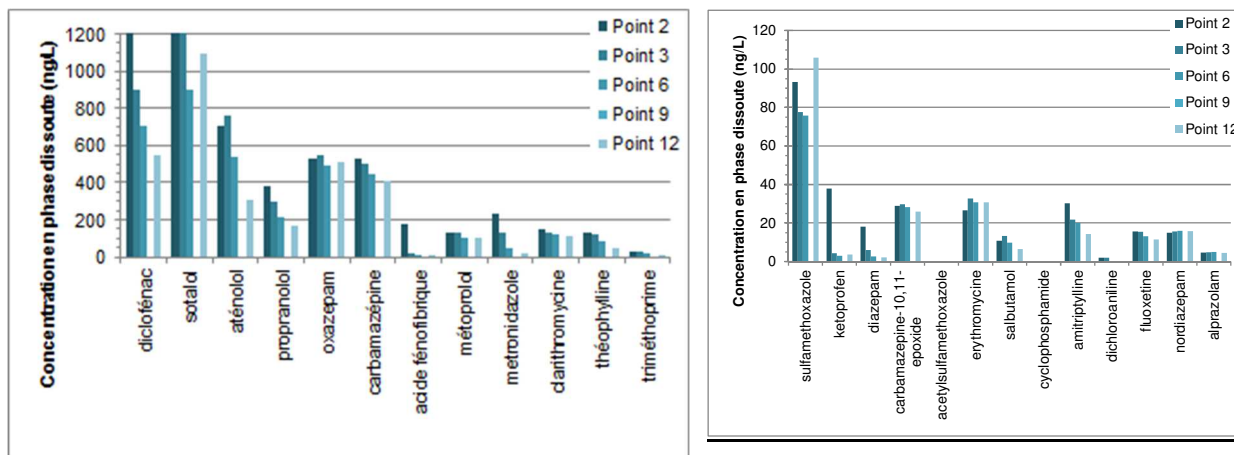


Figure 54 : Concentrations (phase dissoute) en pharmaceutiques mesurées sur les échantillons moyens 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (mars 2015).

5.3.1.1 Concentrations en entrée de la ZRV (point 2)

En entrée de la ZRV de Marguerittes (point 2), tous les micropolluants organiques analysés (33 en tout) ont été quantifiés (en phase dissoute) à des concentrations supérieures à 5×LQ, y compris les métabolites recherchés.

La variabilité de concentration est faible d'un jour sur l'autre avec des RPD compris entre 0 et 30 % (12 % en moyenne) pour la moitié des substances pharmaceutiques. Néanmoins, la variabilité des concentrations J1/J2 est élevée (RPD compris entre 34 et 173 %) pour l'autre moitié des substances pharmaceutiques ainsi que pour les pesticides étudiés (93 % en moyenne).

5.3.1.2 Concentrations dans la ZRV : points 3 (sortie B1), 6, 9 et 12 (dans le B2)

Au niveau des autres points de la ZRV de Marguerittes (points 3, 6, 9 et 12), 30 micropolluants organiques (parmi les 33 recherchés) ont été quantifiés en phase dissoute. Parmi cette liste, 26 micropolluants organiques ont été quantifiés (en phase dissoute) à des concentrations supérieures à 5×LQ, dont diuron, simazine et atrazine qui appartiennent à la liste des substances prioritaires ; diclofénac, oxazépam, clarithromycine, érythromycine et imidaclopride qui appartiennent à la liste de vigilance. De plus, 4 micropolluants organiques ont été quantifiés à des concentrations (phase dissoute) comprises entre 1 et 5×LQ (kétoprofen, diazépam, dichloroaniline, pirimicarbe). Trois micropolluants organiques n'ont pas été quantifiés (acétylsulfaméthoxazole, cyclophosphamide, isoproturon), dont l'isoproturon classé substance prioritaire.

La variabilité de concentration est faible d'un jour sur l'autre avec des RPD compris de 13 % en moyenne, sauf pour 4 micropolluants (30 à 123 %, 54 % en moyenne).

5.3.1.3 Evolution des concentrations au sein de la ZRV en mars 2015

- Au sein du Bassin 1 (points 2 et 3) :

Lors de cette campagne, les concentrations en micropolluants (phase dissoute) au point 3 sont similaires à celles au point 2 pour les micropolluants quantifiés à plus de 5×LQ : la différence relative de concentration entre ces deux points est inférieure à 30 % (9 % en moyenne) pour 24 micropolluants organiques, dont la simazine, l'atrazine et l'imidaclopride, ainsi que, diclofénac, sotalol,

aténolol, propranolol, oxazépam, carbamazépine, métoprolol, clarithromycine, théophylline, triméthoprime, sulfaméthoxazole, érythromycine, salbutamol, amitriptylline, fluoxétine, nordiazépam, alprazolam.

La différence relative de concentration est plus importante et comprise entre 30 et 91% pour 6 micropolluants organiques (diuron, pirimicarbe, acide fénofibrique, métronidazole, kétoprofène et diazépam). Cela signifie que l'on a observé une variation notable des concentrations dissoutes pour ces micropolluants au sein du bassin 1.

- *Au sein du Bassin 2 (points 3 et 12) :*

Les concentrations en micropolluants (phase dissoute) au point 12 sont similaires à celles au point 3 pour les micropolluants quantifiés à plus de 5×LQ. La différence relative de concentration entre ces deux points est inférieure à 30 % (6 % en moyenne) pour 17 micropolluants organiques dont la simazine, l'atrazine et l'imidaclopride, ainsi que l'oxazépam, la clarithromycine et l'érythromycine, le métoprolol, le sulfaméthoxazole, le kétoprofène, la fluoxétine, le nordiazépam, et l'alprazolam. La différence relative est plus importante et comprise entre 30 et 88 % pour 13 micropolluants organiques (le diuron et pirimicarbe, le diclofénac, sotalol, aténolol, propranolol, acide fénofibrique, métronidazole, théophylline, triméthoprime, diazépam, salbutamol, amitriptylline).

- *Au sein de la ZRV (points 2 et 12) :*

Les concentrations en micropolluants (phase dissoute) au point 12 sont similaires à celles au point 2 pour les micropolluants quantifiés à plus de 5×LQ. La différence relative est inférieure à 30 % (13 % en moyenne) pour 13 micropolluants organiques, dont la simazine, l'atrazine et l'imidaclopride, ainsi que l'oxazépam et l'érythromycine, sotalol, carbamazépine, métoprolol, sulfaméthoxazole, fluoxétine, nordiazépam et alprazolam. La différence relative est comprise entre 30 et 160 % pour 14 micropolluants organiques (diuron et pirimicarbe ; diclofénac, aténolol, propranolol, acide fénofibrique, métronidazole, clarithromycine, théophylline, triméthoprime, kétoprofène, diazépam, salbutamol, amitriptylline).

La comparaison des résultats de mars 2015 et octobre 2013 sur les substances communes entre ces deux campagnes (Cf. Tableau 46) montre que l'évolution des concentrations au sein de la ZRV est similaire pour les deux campagnes. Une diminution de concentration un peu plus importante en mars 2015 est observée pour B1 et B1+B2 pour le métoprolol (51 et 80 % en mars 2015 contre 1 et 15 % en oct. 2013, respectivement).

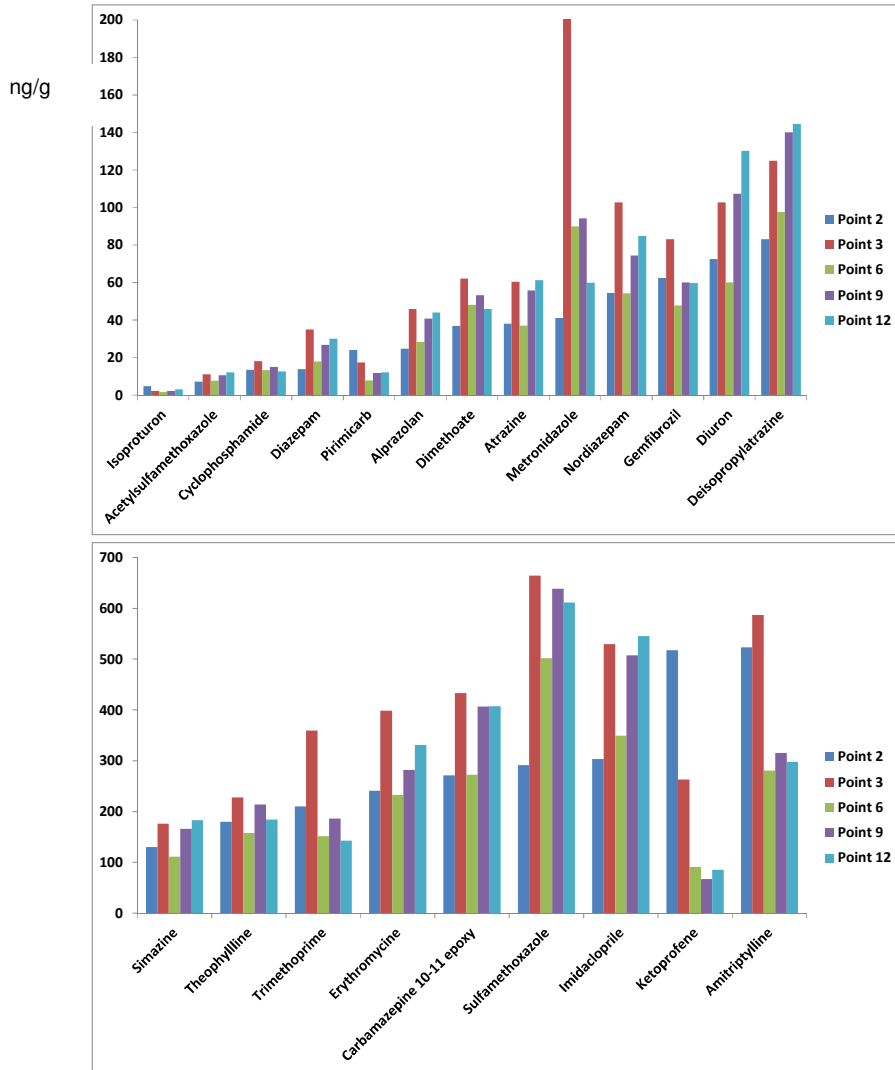
5.3.2 Concentrations en micropolluants organiques mesurées en mars 2015 - Echantillonnage passif intégré sur 14 jours (POCIS)

Sur les 37 micropolluants organiques du Tableau 46, 9 ne permettent pas d'obtenir de résultat fiable dans les POCIS :

- dont 5 à cause d'interférences analytiques (déséthylatrazine, fluoxétine, acide fénofibrique, salbutamol et 3,4-dichloroaniline) ;

- et 4 à cause de concentrations trop élevées et systématiquement hors gamme d'étalonnage (carbamazépine, diclofénac, aténolol et acébutolol). Pour ces 4 micropolluants, il conviendra de prévoir des dilutions analytiques mieux adaptées lors des prochaines études.

Il reste donc 28 micropolluants à discuter dans cette partie. La Figure 55 présente leurs concentrations mesurées dans les POCIS (ng/g), exposés 14 jours aux points 2, 3, 6, 9, 12 de la ZRV de Marguerittes. Les 28 micropolluants sont classés par concentrations croissantes mesurées en entrée de ZRV (point 2). En complément, le lecteur pourra trouver les données de concentrations en annexe 4.



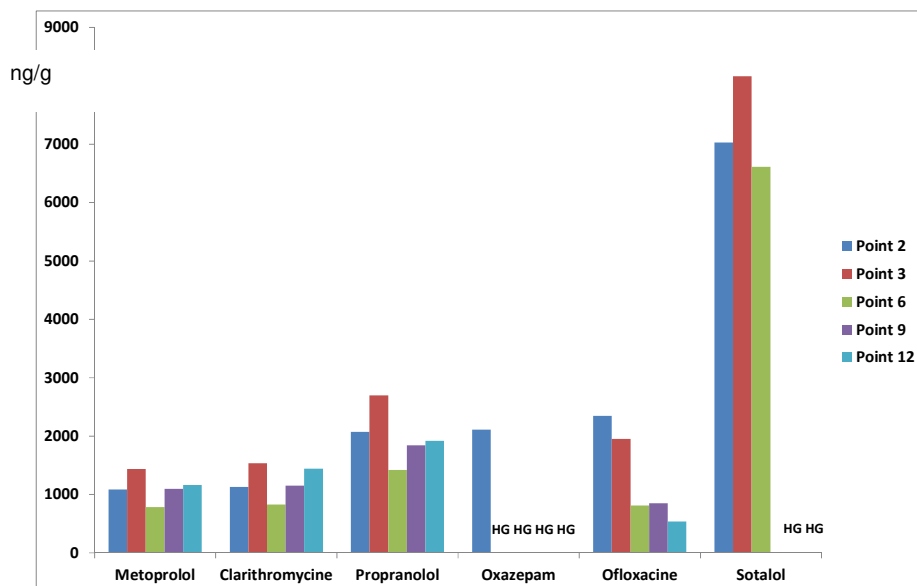


Figure 55 : Concentrations en micropolluants organiques mesurées dans les POCIS (ng/g), en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux croissants de concentrations au point 2. HG : hors gamme.

Nous disposons de taux d'échantillonnage pour 23 de ces 28 micropolluants. Il est donc possible pour ces 23 micropolluants de recalculer une concentration en ng/L dans l'eau (Figure 56). En complément, le lecteur pourra trouver ces données de concentrations en annexe 4. Les 5 micropolluants sans taux d'échantillonnage, et donc sans possibilité de recalculer une concentration dans l'eau sont l'acétylsulfaméthoxazole, le diméthoate, le métronidazole, la théophylline et la carbamazépine 10-11 époxy.

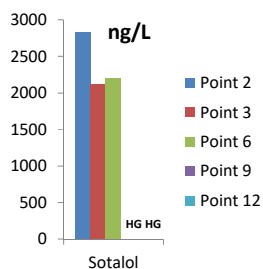
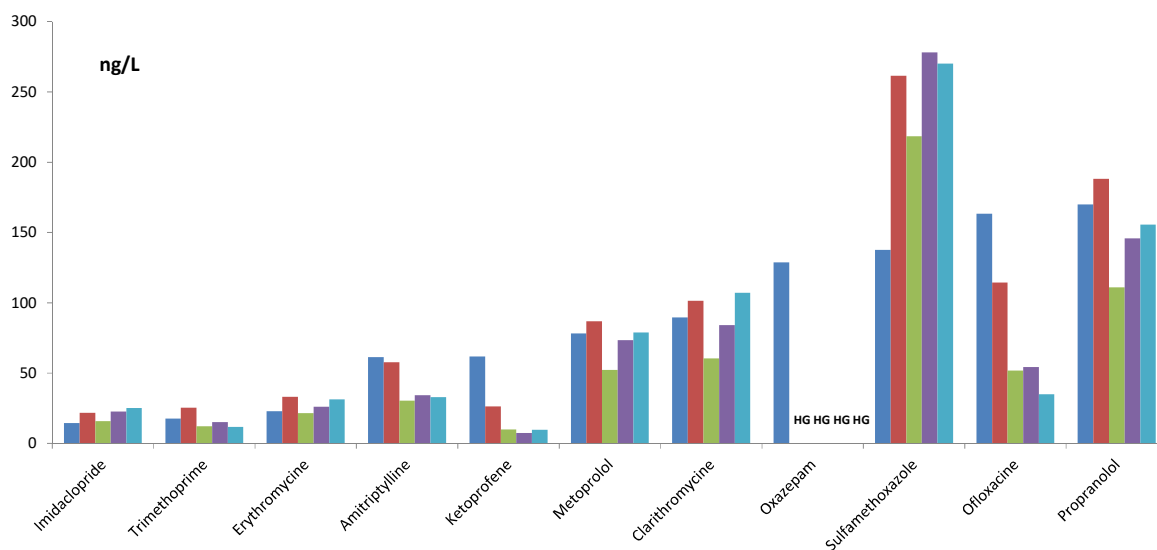
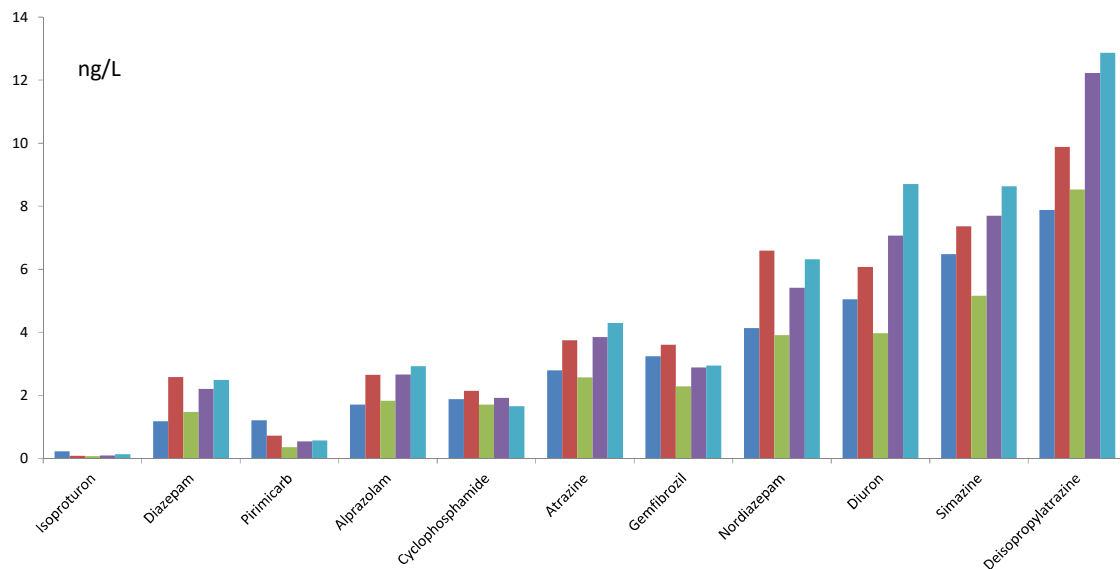


Figure 56 : Concentrations en micropolluants organiques recalculées dans l'eau (ng/L) après échantillonnage par POCIS, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux croissants de concentrations au point 2. HG : hors gamme.

Au regard de la Figure 55 et de la Figure 56, nos premières observations sont les suivantes :

- Les 28 micropolluants organiques ont tous été quantifiés dans les POCIS ;
- Si l'on considère une incertitude sur les concentrations de 30 %, nous n'observons pas d'évolution significative dans la ZRV, sauf :

- pour le pirimicarb, l'amitriptyline, le kétoprofène et l'ofloxacine avec une diminution des concentrations du point 2 au point 12 (respectivement en ng/L de 1,2 à 0,5 ; 61,3 à 32,9 ; 61,8 à 9,6 ; 163 à 34,9) ;
- pour la DIA et la sulfaméthoxazole, avec une augmentation des concentrations du point 2 au point 12 (respectivement en ng/L de 7,8 à 12,9 ; 138 à 270).
- Au point 6, les concentrations sont systématiquement les plus basses. Comme il n'y a pas d'explication logique liée au fonctionnement de la ZRV, nous supposons que l'exposition du POCIS au point 6 était légèrement moins favorable, avec des cinétiques d'accumulation des micropolluants dans le POCIS moins rapides (courant d'eau moins fort).

Quand c'était possible, afin de comparer les concentrations en ng/L obtenues par échantillonnage moyen 24h d'eau sur 2 jours consécutifs (J1 et J2) et par échantillonnage intégré sur 14 jours dans les POCIS, nous avons calculé des ratios de concentrations (moyen 24h eau / intégré POCIS) que nous avons reportés dans la Figure 57. Des ratios très différents peuvent s'expliquer par une variabilité des concentrations journalières atténuée par un échantillonnage POCIS intégré sur 14 jours.

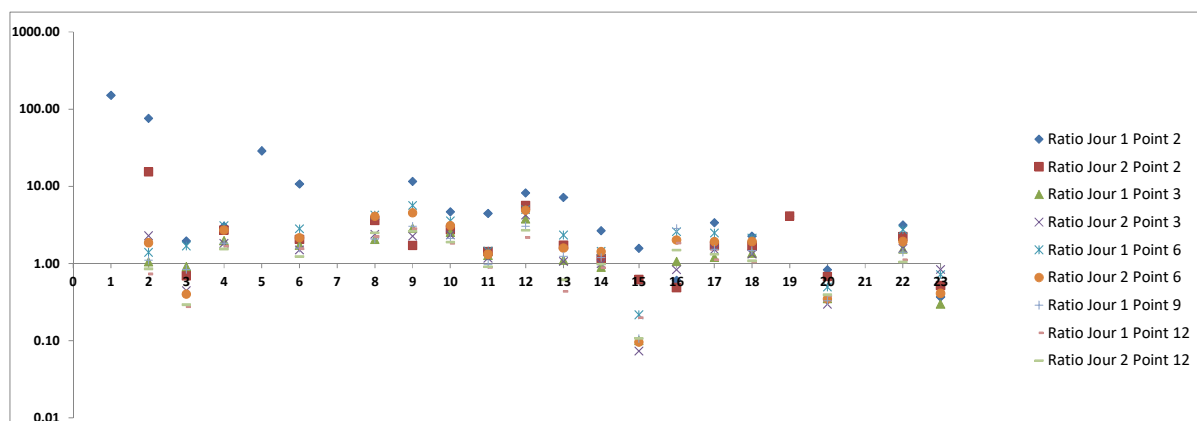


Figure 57 : Ratios des concentrations (après échantillonnage moyen 24h d'eau / après échantillonnage intégré sur 14j par POCIS) aux jours 1 et 2 et aux points 2, 3, 6, 9 et 12 de la ZRV. Avec 1 : Isoproturon, 2 : Diazépam, 3 : Pirimicarb, 4 : Alprazolam, 5 : Cyclophosphamide, 6 : Atrazine, 7 : Gemfibrozil, 8 : Nordiazépam, 9 : Diuron, 10 : Simazine, 11 : Déisopropylatrazine, 12 : Imidaclopride, 13 : Triméthoprimine, 14 : Erythromycine, 15 : Amitriptyline, 16 : Kétoprofène, 17 : Métoprolol, 18 : Clarithromycine, 19 : Oxazépam, 20 : Sulfaméthoxazole, 21 : Ofloxacine, 22 : Propranolol, 23 : Sotalol.

Nous observons que :

- Au point 2, la concentration obtenue par échantillonnage d'eau est très au-dessus de celle par POCIS pour l'isoproturon et le diazépam (d'un facteur 151 et 75 respectivement). Cela s'explique par des concentrations très élevées mesurées pour ces 2 substances dans les échantillons d'eau à J1 (34,3 et 89,4 ng/L) ; alors qu'à J2 l'isoproturon n'est plus quantifié (<LQ) et la concentration en diazépam a baissé à 18,1 ng/L ;
- D'une façon générale, c'est au point 2 que les concentrations sont les plus différentes entre échantillonnage 24h/eau vs 14j/POCIS (avec des ratios >10 pour certaines substances). On peut l'expliquer par le fait que la variabilité journalière des concentrations en sortie d'effluents secondaires au point 2 est ensuite tamponnée par le séjour de ces substances dans la ZRV ;
- D'une façon générale, les concentrations obtenues par échantillonnage 24h/eau sont plus élevées que celles obtenues par échantillonnage 14j/POCIS, sauf pour les substances pirimicarb, amitriptyline, sulfaméthoxazole et sotalol, Cela peut s'expliquer soit par une campagne d'échantillonnage d'eau à une période où la contamination était maximum, soit par l'utilisation de taux d'échantillonnage qui tendent à sous-estimer la concentration recalculée avec le POCIS ;

- Mis à part au point 2, les concentrations sont finalement assez similaires entre les 2 types d'échantillonnage (ratio < 3 ou > 0,3) sauf pour les substances : nordiazépam (ratio à 4,2 au point 6), diuron (ratio à 5,6 au point 6), simazine (ratio à 3,6 au point 6), imidaclopride (ratio à 4,9 au point 6) et amitriptyline (ratio à 0,07 au point 3). Sauf au point 2 et pour ces substances, l'échantillonnage POCIS tend à confirmer les concentrations mesurées dans les eaux sur 2 jours successifs.

5.4 Rendements d'élimination des micropolluants

Les rendements d'élimination R_w ont été calculés à partir des concentrations mesurées aux points 2 (entrée B1), 3 (sortie B1) et 12 (sortie B2) pour le bassin 1 (B1) et pour l'association des deux bassins (B1+B2), pour l'ensemble des campagnes réalisées sur la ZRV. Afin d'obtenir des valeurs de rendements les plus consolidées possibles, nous avons utilisé les règles de calculs mises au point dans le projet ARMISTIQ qui consistent à prendre en compte l'incertitude analytique (Choubert et al., 2015 ; 2011).

Les résultats de rendements d'élimination R_w sont présentés dans la Figure 58 et les Tableau 49 et Tableau 50. Les rendements R_w sont classés par gamme : < 30 % en rouge (■) ; entre 30 et 70 % en jaune (■) ; supérieur à 70 % en vert (■). Nous avons travaillé sur les concentrations mesurées en J1 et en J2, sauf pour les pesticides et la moitié des substances pharmaceutiques pour lesquels nous avons travaillé sur les concentrations mesurées en J2 en raison de la forte variabilité en entrée de la ZRV dans les échantillons de la campagne de mars 2015 (Cf. 5.3.1.1). Ce choix a été consolidé suite aux résultats obtenus avec l'échantillonnage intégratif par POCIS (Cf. 5.3.2).

Les résultats présentés donnent une vue d'ensemble de toutes les campagnes. Pour les métaux, nous avons choisi de représenter la moyenne des résultats de 3 campagnes, ne pouvant associer les fluctuations de performances à des modifications des conditions de fonctionnement du procédé. En revanche, pour les organiques, nous avons choisi de présenter les résultats pour 3 campagnes, sauf pour quelques micropolluants photodégradables pour lesquels nous avons indiqué les informations obtenues sans couvert végétal, celles obtenues avec couvert végétal étant indiquées séparément.

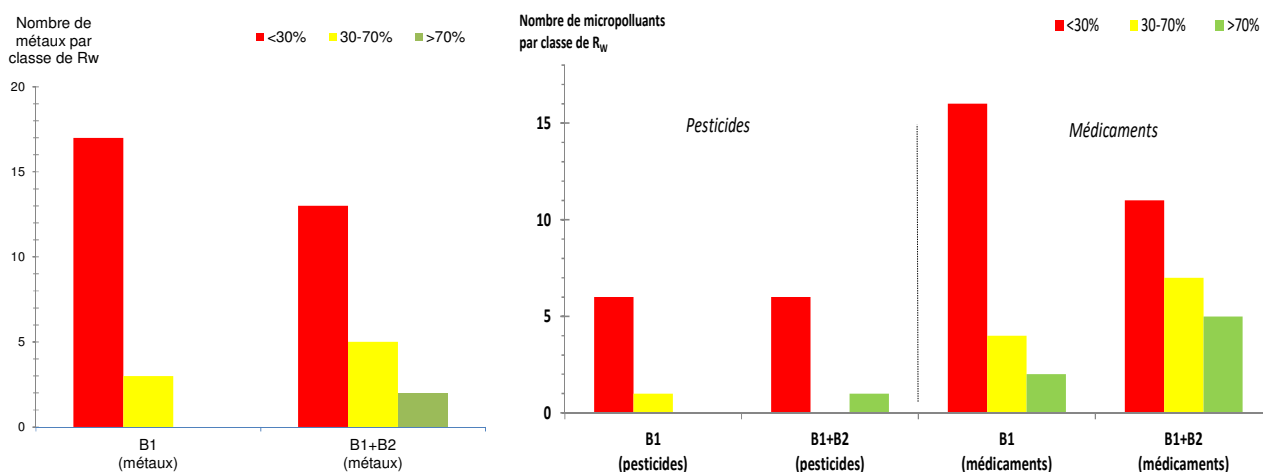


Figure 58 : Nombre de rendement d'élimination calculé par famille de micropolluants, et par classe de rendements R_w pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes (mars 2015).

Tableau 49 : Récapitulatif des rendements d'élimination des métaux pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes.

Code couleur pour les rendements R_w : < 30 % en rouge (■) ; entre 30 et 70 % en jaune (■) ; > 70 % en vert (■)

Catégories de rendement de B1	B1	B1+B2
$R_w < 30\%$	As ^(b) , B, Ba, Co, Cr ^(b) , Cu ^(b) , Li, Mn, Ni ^(a) , Rb, Sb, Se, Sr, Ti, U, V, Zn ^(b)	As ^(b) , B, Ba, Co, Cu ^(b) , Li, Ni ^(a) , Rb, Sb, Se, Sr, U, V
30 – 70 %	Al, Fe, Pb ^(a)	Al, Cr ^(b) , Pb ^(a) , Ti, Zn ^(b)
> 70 %	-	Fe, Mn

(a) : Substances prioritaires (directive 2013/39/UE) ; (b) : Substances de l'état écologique (arrêté du 25 janvier 2010)

Rendements R_w non déterminables pour 4 métaux (Ag, Cd, Mo, Sn).

Tableau 50 : Récapitulatif des rendements d'élimination des micropolluants organiques pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes (mars 2015).

Code couleur pour les rendements R_w : < 30 % en rouge (■) ; entre 30 et 70 % en jaune (■) ; supérieur à 70 % en vert (■)

Catégories de rendement	B1	B1+B2
$R_w < 30\%$	imidaclopride ^(c) , déséthylatrazine, diuron ^(a) , simazine ^(a) , désisopropylatrazine, atrazine ^(a) sotalol, aténolol, propranolol, oxazépam ^(c) , carbamazépine, métoprolol, clarithromycine ^(c) , sulfaméthoxazole, carbamazépine-10,11-époxyde, érythromycine ^(c) , dichloroaniline, fluoxétine, nordiazépam, alprazolam, salbutamol, amitriptyline	imidaclopride ^(c) , déséthylatrazine, diuron ^(a) , simazine ^(a) , désisopropylatrazine, atrazine ^(a) sotalol, oxazépam ^(c) , carbamazépine, métoprolol, sulfaméthoxazole, carbamazépine-10,11-époxyde, érythromycine ^(c) , dichloroaniline, fluoxétine, nordiazépam, alprazolam
30 - 70%	pirimicarbe <u>diclofénac^(c)</u> , diazépam, <u>métronidazole</u> , théophylline	- <u>diclofénac^(c)</u> , aténolol, propranolol, <u>clarithromycine^(c)</u> , théophylline, <u>salbutamol</u> , amitriptyline
>70%	kétoprofène, <u>acide fénofibrique</u>	pirimicarbe triméthoprime, diazépam, <u>acide fénofibrique</u> , kétoprofène, <u>métronidazole</u>

(a) : Substances prioritaires (directive 2013/39/UE) ; (b) : Substances de l'état écologique (arrêté du 25 janvier 2010) ; (c) : substance de la liste de vigilance (Décision d'exécution 2015/495/UE)

Rendements R_w non déterminés pour 2 pesticides (diméthoate, isoproturon), et 11 substances pharmaceutiques (acétylsulfaméthoxazole, cyclophosphamide, paracétamol, norfluoxétine, norfloxacine, acébutolol, ofloxacine, clindamycine, ciprofloxacine, azithromycine).

Souligné : Micropolluants dont les rendements diminuent dans la catégorie inférieure lorsqu'un couvert végétal est présent en surface.

La majorité des micropolluants présents en phase dissoute de la ZRV Marguerittes a donc été peu (voire pas) éliminée ($R_w < 30\%$), en particulier pour Ni, Cu, As, imidaclopride, diuron, simazine, atrazine, sotalol, oxazépam, carbamazépine, métoprolol, sulfaméthoxazole, érythromycine, fluoxétine, nordiazépam, alprazolam. En revanche, quelques micropolluants ont été partiellement éliminés (ex. Zn, Cr, Pb, diclofénac, aténolol, propranolol), voire bien éliminés (ex. Fe, Mn, pirimicarbe, kétoprofène, acide fénofibrique) ; cela s'explique probablement soit par décantation/sorption (métaux), soit par photodégradation (micropolluants organiques tels que l'acide fénofibrique, le kétoprofène, le métronidazole, triméthoprime, diazépam). Le nombre de micropolluants partiellement, voire bien éliminés, augmente avec l'association des 2 bassins B1+B2, par rapport à B1 seul (ex. Cr, pirimicarbe, diclofénac, diazépam, kétoprofène, métronidazole), alors que pour Al l'élimination reste similaire.

Un couvert végétal de lentilles a été présent à la surface des bassins lors de la campagne de juillet 2015 (Cf. Annexe 4), privant totalement la lame d'eau de l'action des rayons UV (Mathon et al. 2017). Nous

avons donc vérifié que les rendements des micropolluants organiques les plus photodégradables ont été modifiés. En effet, les rendements d'élimination du diclofénac, de l'acide fénofibrique et du métrondazole (i.e. 3 micropolluants organiques rapidement photodégradables, Cf. Mathon et al. 2017) ont été plus faibles en juillet 2015 par comparaison à ceux de mars 2015 ; ainsi par exemple, le R_w du diclofénac passe de 30-70 % à < 30% pour B1 et B1+B2. Dans une moindre mesure, les R_w de la clarithromycine et du salbutamol sont aussi influencés pour B1+B2. Leurs rendements sont plus faibles passant de 30-70 % (Mars-15) à < 30 % (Juillet 2015). Les rendements des autres micropolluants ne sont pas impactés.

5.5 Conclusions

La majorité des micropolluants présents en phase dissoute de la ZRV de Marguerittes a donc été peu (voire pas) éliminée ($R_w < 30$ %). Quelques micropolluants seulement ont été partiellement éliminés, voire bien éliminés. Le nombre de micropolluants éliminés semble augmenter avec l'association des 2 bassins B1+B2, par rapport à B1 seul. Pour les quelques micropolluants organiques partiellement/bien éliminés en mars 2015, des rendements d'élimination plus faibles ont été déterminés en été 2015 en raison du couvert végétal.

Nous avons observé une forte variabilité des concentrations entre J1 et J2 pour une vingtaine des micropolluants organiques. L'échantillonnage par POCIS permet d'atténuer cette variabilité, du fait que les concentrations sont intégrées sur 14 j. Pour la suite, nous recommandons de poursuivre l'association échantillonnage classique et échantillonnage passif intégratif. On pourra se limiter aux entrées et sorties de chaque bassin (points 2, 3 et 12).

6. DISCUSSION / BILANS DE MATIERES

Le bilan de fonctionnement de la ZRV de Marguerittes est réalisé sur la base des différents compartiments qui la composent :

- eau,
- boues/sédiments,
- végétaux.

Les éléments relatifs au compartiment « eau » et au compartiment « boues » sont contenus dans ce présent rapport.

Les éléments relatifs au compartiment « végétaux » sont disponibles dans le rapport : Guerreiro H. *et al.*, 2019. [A venir].

Chaque compartiment ne peut être suivi de manière identique dans le temps étant donné leurs caractéristiques respectives. C'est pourquoi le bilan « eau » est suivi en continu (suivi sur un pas de temps de 5 minutes via des sondes), tandis que le bilan « boues » est basé sur un prélèvement intégrant 2.5 ans de fonctionnement de la ZRV, et que le bilan « végétaux » est constitué d'un unique prélèvement annuel en octobre 2015. Le choix d'une année englobant l'automne 2015 est réalisé.

De même, le lieu de prélèvement est propre à chaque compartiment étudié : points entrées/sorties pour l'« eau », bathymétrie complète pour les boues (focalisée sur le B1 en absence de boues dans le B2), et prélèvements et analyses des végétaux les plus rencontrés et répartis dans la ZRV (sur le B2 pour les végétaux enracinés, présents uniquement sur ce bassin).

C'est l'analyse détaillée de l'ensemble de ces données différentes qui doit permettre de conclure quant à l'intérêt et les performances globales de la ZRV. Il semble donc pertinent d'effectuer un bilan sur une base annuelle, en considérant les mêmes paramètres qui composent les différents compartiments : l'analyse sur les paramètres azote et phosphore est présentée ci-après.

6.1 Bilan sur l'azote (N)

Dans le compartiment « eau », le bilan annuel a été conduit sur la période de mars 2015 à février 2016. Les prélèvements ont été effectués principalement en 3 points de la ZRV : sortie station (entrée ZRV), sortie bassin 1 (sortie intermédiaire) et sortie bassin 2 (sortie ZRV).

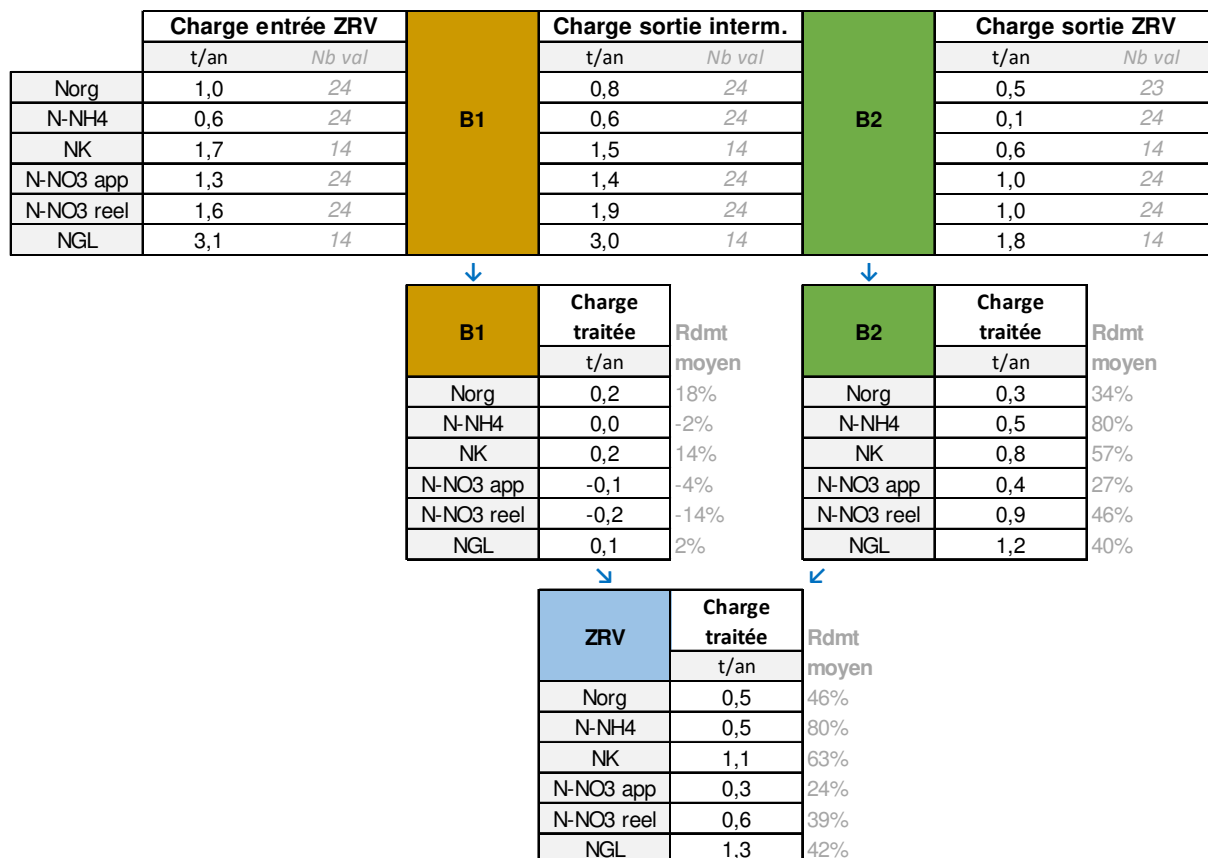


Figure 59 : Bilan de charges en azote dans le compartiment eau, calculé sur la base des données de bilans 24h et prélèvements ponctuels (débit Q1, mars 2015 à février 2016)

Ainsi, le bilan élaboré à partir des bilans 24h et les prélèvements ponctuels, présenté en Figure 59 détaille les charges (kgN/an) pour une année (mars 2015 à février 2016, c'est-à-dire **hors périodes de dysfonctionnements** de janvier-février 2015) pour chaque paramètre azoté analysé, aux 3 points de suivis. C'est sur la base de ces charges annuelles que des rendements indicatifs pour chacun des 2 bassins constitutifs de la ZRV sont calculés.

Enfin, les charges traitées/entrantes et les rendements indicatifs pour la totalité de la ZRV sont exposés pour chaque paramètre azoté suivi lors de l'étude.

Dans le compartiment « boues », l'azote a été analysé grâce à deux bathymétries en novembre 2014 puis octobre 2015, incluant alors 2.5 ans de fonctionnement et d'accumulation de boues (et potentiellement d'azote) sur la ZRV. La présence de sédiments a été observée sur le bassin 1 quasi uniquement, c'est pourquoi seul le B1 a fait l'objet d'un tel suivi.

Entre les deux bathymétries (cf. partie 3.2), la hauteur de boue augmente en amont de la digue (taux de remplissage de 24 % en 2015) tandis qu'elle semble se stabiliser après cette même digue (taux de remplissage de 14 %). Sur l'ensemble du B1, les volumes estimés restent très similaires (550-575 m³ respectivement en 2014 et 2015).

Les prélèvements réalisés uniquement lors de la 2^{ème} bathymétrie ont suivi un quadrillage de prélèvements de sédiments représentatifs répartis sur 3 zones distinctes (zone entrée B1, zone en amont de la digue d'une ancienne bande de scirpes, zone en aval de cette digue).

Les teneurs en azote mesurées dans ces sédiments, couplées aux hauteurs mesurées ont permis d'obtenir des masses d'azote retenues dans les sédiments. Elles sont présentées dans le Tableau 51 pour ces 3 zones.

Tableau 51 : Masses de NK (en kg) par zone de prélèvement et masse totale dans le bassin B1

NK	Boues du B1 (kg)				Total sur 1 an
	Entrée B1	Amont digue	Aval digue	Total sur 2,5 ans	
	22	379	193	594	238

Ainsi, la quantité d'azote considérée comme retenue dans les sédiments du B1 est d'environ 240 kg/an de NK. Une minéralisation avec relargage dans l'eau de N-NH₄⁺ est déduite et estimée à 176 kg sur 2,5 ans soit 70 kg/an (cf. partie 3.2).

Dans le compartiment « végétal », l'azote a été étudié via des prélèvements de végétaux. Les types de végétaux analysés ont été sélectionnés selon leur densité et leur grande représentativité sur l'ensemble de la ZRV : *Phragmites*, *Typhas*, *Lemna* et *Azolla* en très grande majorité. Plusieurs prélèvements d'une surface connue ont été réalisés. Les 3 parties constituantes (feuilles, tiges, racines) des *Phragmites* et *Typha* ont été analysées séparément (Guerreiro H. *et al.*, 2019. [A venir]). Les tiges ont été coupées environ 10 cm au-dessus du niveau de l'eau : ainsi, la masse éventuellement exportable par faucardage est estimée à partir du cumul des feuilles et tiges. Les racines (et une partie résiduelle des tiges) ne sont pas exportables dans une gestion courante de ZRV.

Tableau 52 : Masses d'azote dans les différents végétaux (octobre 2015)

Espèces	Organes	N en kg	
		moy ± ET (%CV)	Intervalle min-Max
<i>Mélange Lemna / Azolla</i>		46 ± 8 (17%)	38 - 53
<i>Ceratophyllum demersum</i>	zone libre	33 ± 22 (66%)	19 - 59
	sortie roselière	22 ± 4 (17%)	18 - 26
<i>Phragmites australis</i>	Feuille	72 ± 29 (41%)	35-102
	Tiges	19 ± 10 (52%)	8 - 31
	Biomasse aérienne	100 ± 30 (30%)	64 - 132
	Biomasse immergée	38 ± 4 (11%)	33 - 42
<i>Typha latifolia</i>	Feuille	29 ± 3 (11%)	25 - 31
	Tiges	1 ± 0,6 (63%)	0,5 - 1,6
	Biomasse aérienne	30 ± 3,4 (12%)	26 - 32
	Biomasse immergée	22 ± 7 (33%)	15 - 30

Les estimations des masses d'azote contenues dans les végétaux de la ZRV de Marguerittes sont présentées dans le Tableau 52. Pour *Ceratophyllum* et les parties aériennes de *Phragmites australis* et *Typha latifolia*, ces masses sont représentatives d'une croissance annuelle puisque les prélèvements ont eu lieu à l'automne. Pour les parties immergées de *Phragmites australis* et *Typha latifolia*, ces masses sont représentatives de la croissance depuis la plantation c'est-à-dire 2,5 ans.

En ce qui concerne *Lemna/Azolla*, les masses affichées sont celles correspondant à une unique récolte lors de la couverture complète de la surface d'eau libre.

Tableau 53 : Estimation des masses annuelles d'azote contenues dans les plantes : parties aérienne et immergée et dans chaque bassin de la ZRV

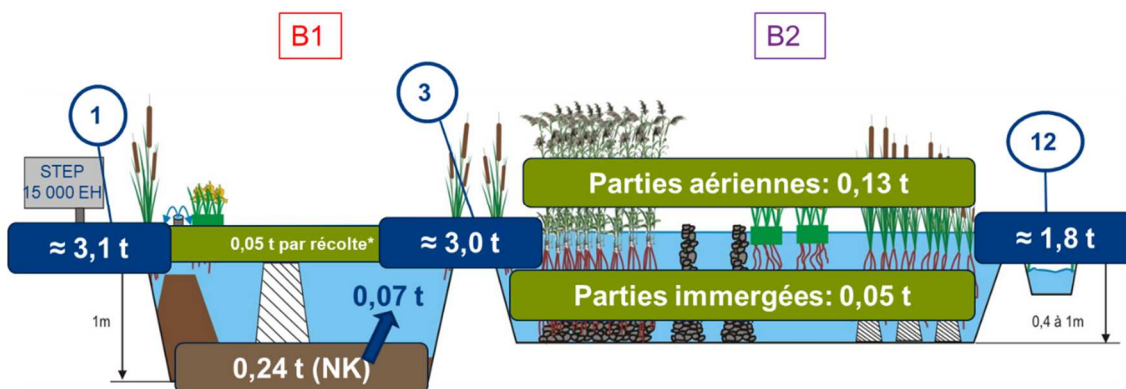
	Organes	N (en kg)			
		Moy	min	Max	
Dans la ZRV	<i>Phragmites australis</i>	100	64	132	
	<i>Typha latifolia</i>	30	25,6	32,1	
	<i>Lemma (1 récolte)</i>	46	38,3	53,5	
	CUMUL	Si 1 récolte de <i>Lemma</i> par an	176	127	217
	biomasse aérienne	Si 2 récoltes de <i>Lemma</i> par an	223	166	271
	<i>Ceratophyllum 1</i>	33	20	59	
	<i>Ceratophyllum 2</i>	22	18	26	
	<i>Phragmites australis</i> immergé	38	33	42	
	<i>Typha latifolia</i> immergé	22	15	30	
	CUMUL biomasse immergée sur 2,5 ans		116	87	156
	CUMUL biomasse immergée sur 1 an		46	35	62
	Dans B1	CUMUL	Si 1 récolte de <i>Lemma</i> par an	23	19
	biomasse aérienne	Si 2 récoltes de <i>Lemma</i> par an	46	38,3	53,5

Ces éléments détaillés (

Tableau 53) fournissent des informations permettant d'estimer :

- les masses annuelles exportables lors de récoltes annuelles :
 1. par faucardage à l'automne des *Phragmites* et *Typha* qui, de fait, sont implantés uniquement dans le B2,
 2. et lors de récoltes des végétaux flottants *Lemma/Azolla* à la fréquence de deux fois par an suite à un envahissement complet de la surface d'eau libre, dans le B1 et dans le B2 ;
- les masses annuelles stockées dans la biomasse immergée, localisée uniquement dans le B2. Le *Ceratophyllum* est pris en compte dans ce bilan en tant que biomasse immergée car non facilement récoltable.

Globalement sur la ZRV de type « bassin » de Marguerittes, et pour une période d'un an, le bilan azote pouvant être établi sur cette première période de fonctionnement est présenté en Figure 60 à l'aide des charges entrantes et traitées pour chaque compartiment (bassins 1 et 2) de la ZRV.



* sur la totalité de la ZRV

Figure 60 : Bilan azote simplifié - Exemple du NGL (en tonnes de NGL/an)

Le bilan annuel sur l'azote montre que 50 % du NGL serait traité sur la ZRV mais les deux bassins fonctionnent de manière très différente.

Le B1 a peu d'impact sur l'azote mais permet la rétention des boues et d'une partie de l'azote associé (environ 240 kg soit 7 % de l'azote entrant). Ces boues se minéralisent et contribuent à relarguer un peu d'azote en sortie du B1.

Le B2, bien plus végétalisé, permet de traiter 1,5 t de NGL. Dans ce bassin, les plantes représentent une part relativement négligeable de l'azote stocké dans la ZRV. Si on considère les parties uniquement exportables (*Lemna* et végétaux faucardables), cela représente 230 kg en considérant 2 récoltes de *Lemna* soit 7 % de l'azote entrant.

Sur les 50 % d'azote éliminé, on est donc en mesure d'en expliquer 14 % par les végétaux et les boues. Pour le compartiment eau, sur l'ensemble de la ZRV, la nitrification atteint un taux de l'ordre de 85 % ; jusqu'à environ 25 % des nitrates N-NO₃⁻ seraient traités, et ce quasi exclusivement par le bassin B2. Cet azote manquant dans le bilan massique peut donc être sous forme de N₂ ou N₂O ou dans une partie des boues non comptabilisées dans le bassin B2 du fait de leur faible quantité.

6.2 Bilan sur le phosphore (P)

Les méthodologies de terrain et protocoles d'échantillonnages en vue d'analyse du paramètre phosphore ont été identiques à celles concernant le paramètre azote.

Pour le compartiment « eau », le bilan présenté en Figure 61 détaille les charges (kgP/an) pour une année (mars 2015 à février 2016, c'est-à-dire hors périodes de dysfonctionnements de janvier-février 2015) pour chaque paramètre phosphoré analysé, aux 3 points de suivis. C'est sur la base de ces charges que les rendements indicatifs pour chacun des 2 bassins constituant la ZRV sont calculés. Enfin, les charges traitées/entrantes et les rendements indicatifs pour la totalité de la ZRV sont exposés pour chaque paramètre phosphoré suivi lors de l'étude.

	Charge entrée ZRV		B1	Charge sortie interm.		B2	Charge sortie ZRV	
	kg/an	Nb val		kg/an	Nb val		kg/an	Nb val
Pt	355	14		245	14		131	14
P-PO4	117	14		123	14		97	14
P org	238	14		122	14		33	14

	B1		Rdmt moyen	B2		Rdmt moyen
	Charge traitée kg/an			Charge traitée kg/an		
Pt	110		31%	114		47%
P-PO4	-6		-5%	26		21%
P org	116		49%	88		73%

	ZRV		Rdmt moyen
	Charge traitée kg/an		
Pt	225		63%
P-PO4	20		17%
P org	205		86%

Figure 61 : Bilan de charges en phosphore dans le compartiment eau, calculé sur la base des données de bilans 24h et prélèvements ponctuels (débit Q1, mars 2015 à février 2016)

La rétention du Pt sur l'ensemble de la ZRV serait d'environ 60 % principalement grâce à la rétention du phosphore particulaire, lié aux matières en suspension, qui est réduit d'environ 50 % dans le B1. Cette diminution se poursuit dans le bassin 2 de façon équivalente. Cette fraction particulaire se minéralise progressivement en générant des orthophosphates. C'est pourquoi la réduction globale mesurée des orthophosphates reste modeste, à peine 15 %.

Pour le compartiment « boues », les teneurs en phosphore mesurées dans ces sédiments, couplées aux hauteurs mesurées ont permis d'obtenir des masses de phosphore retenues dans les sédiments. Elles sont présentées dans le Tableau 54 pour ces 3 zones.

Tableau 54 : Masses de Pt (en kg) par zone de prélèvement et masse totale dans le bassin B1

Pt	Boues du B1 (kg)				Total sur 1 an
	Entrée B1	Amont digue	Aval digue	Total sur 2,5 ans	
	11	166	63	239	96

Ainsi, la quantité de phosphore considérée comme retenue dans les sédiments du B1 est d'environ 96 kg/an de Pt. Une minéralisation avec relargage dans l'eau de $P-PO_4^{3-}$ est estimée à 8 kg/an (voir partie 3.2).

Dans le compartiment « végétal », le phosphore a été étudié via des prélèvements de végétaux. La méthodologie est identique à celle utilisée pour l'azote. Les types de végétaux analysés ont été sélectionnés selon leur densité et leur grande représentativité sur l'ensemble de la ZRV : *Phragmites*, *Typhas*, *Lemna* et *Azolla* en très grande majorité. Plusieurs prélèvements d'une surface connue ont été réalisés. Les 3 parties constituantes (feuilles, tiges, racines) des *Phragmites* et *Typha* ont été analysées séparément. Les tiges ont été coupées environ 10 cm au-dessus du niveau de l'eau : ainsi, la masse éventuellement exportable par faucardage est estimée à partir du cumul des feuilles et tiges. Les racines (et une partie résiduelle des tiges) ne sont pas exportables dans une gestion courante de ZRV.

Tableau 55 : Masses de phosphore dans les végétaux (octobre 2015)

Espèces	Organes	P en kg	
		moy ± ET (%CV)	Intervalle min-Max
<i>Mélange Lemna / Azolla</i>		5,1 ± 1,5 (29%)	3,5 – 6,0
<i>Ceratophyllum demersum</i>	zone libre	1,1 ± 0,7 (69%)	0,6 – 1,9
	sortie roselière	1,6 ± 0,2 (10%)	1,4 – 1,7
<i>Phragmites australis</i>	Feuilles	3,7 ± 2,3 (62%)	1,4 – 6,2
	Tiges	1,8 ± 1,1 (58%)	1,1 – 3,7
	Biomasse aérienne	5,7 ± 3,1 (54%)	2,5 – 8,7
	Biomasse immergée	5,2 ± 1,9 (36%)	3,2 – 7,0
<i>Typha latifolia</i>	Feuilles	3,7 ± 0,4 (10%)	3,3 – 4,0
	Tiges	0,5 ± 0,7 (126%)	0,1 – 1,3
	Biomasse aérienne	4,2 ± 1,0 (24%)	3,5 – 5,3
	Biomasse immergée	4,3 ± 1,3 (30%)	2,9 – 5,4

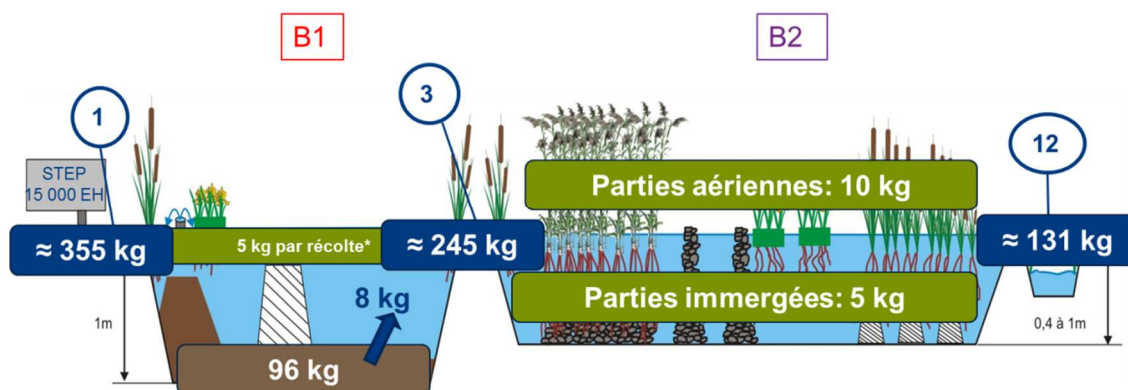
Les estimations des masses de phosphore contenues dans les végétaux de la ZRV de Marguerittes sont présentées dans le Tableau 56. Pour *Ceratophyllum* et les parties aériennes de *Phragmites australis* et *Typha latifolia*, ces masses sont représentatives d'une croissance annuelle puisque les prélèvements ont eu lieu à l'automne. Pour les parties immergées de *Phragmites australis* et *Typha latifolia*, ces masses sont représentatives de la croissance depuis la plantation, c'est-à-dire 2,5 ans.

En ce qui concerne *Lemma/Azolla*, les masses affichées sont celles correspondant à une unique récolte lors de la couverture complète de la surface d'eau libre.

Tableau 56 : Estimation des masses annuelles de phosphore contenues dans les plantes : parties aérienne et immergée et dans chaque bassin de la ZRV

	Organes	P en kg		
		Moy	min	Max
Dans la ZRV	<i>Phragmites australis</i>	5,65	2,52	8,68
	<i>Typha latifolia</i>	4,40	3,47	5,33
	<i>Lemma</i> (1 récolte)	5,15	3,45	6,04
	CUMUL aérien			
	Si 1 récolte de <i>Lemma</i> par an	15	9	20
	Si 2 récoltes de <i>Lemma</i> par an	20	13	26
	Ceratophyllum 1	1	1	2
	Ceratophyllum 2	2	1	2
	<i>Phragmites australis</i> immergé	5	3	7
	<i>Typha latifolia</i> immergé	4	3	5
Dans B1	CUMUL biomasse immergée sur 2,5 ans	12	8	16
	CUMUL biomasse immergée sur 1 an	5	3	6
	CUMUL			
	Si 1 récolte de <i>Lemma</i> par an	2,5	1,8	3
	Si 2 récoltes de <i>Lemma</i> par an	5,15	3,45	6,04

Globalement, sur la ZRV, le bilan phosphore pouvant être établi grâce au suivi Irstea sur cette première période de fonctionnement est présenté en Figure 62 à l'aide des charges entrantes et traitées pour chaque compartiment (bassins 1 et 2) de la ZRV.



* sur la totalité de la ZRV

Figure 62 : Bilan phosphore simplifié - Exemple du Pt (en kg de Pt/an)

Le bilan annuel sur le phosphore montre que 60% du Pt serait traité sur l'ensemble de la ZRV.

Comme pour l'azote, le B1 permet une rétention des boues et du phosphore associé (96 kg soit 27 % du phosphore entrant). Pour le compartiment eau, les 110 kg éliminés en sortie de B1 se retrouvent donc majoritairement dans les boues. Ces boues se minéralisent et relarguent des orthophosphates.

En sortie du B2, 114 kg de Pt supplémentaires sont éliminés.

Seulement 25 kg sont prélevés par les plantes (dont 20 kg exportables en considérant 2 récoltes de *Lemma*) soit 7 % du phosphore entrant.

L'hypothèse la plus probable pour expliquer les 89 kg éliminés sont les boues, non mesurées dans le B2. En effet, même si une bathymétrie fine n'avait pas été réalisée sur celui-ci en raison d'une répartition très hétérogène et des difficultés à mesurer des hauteurs inférieures à 5 cm, quelques boues étaient

présentes, parfois localement entre 5 et 15 cm. A titre d'exemple, en considérant une hauteur moyenne de 2 cm sur l'intégralité du B2 couplée à la concentration mesurée dans les boues dans la zone d'eau libre (cf. Séd 6 dans la partie 3.2), cela représenterait 63 kg de phosphore stocké dans le B2.

Le rôle des différents compartiments dans la rétention du phosphore semble plutôt bien expliqué avec un bilan massique assez bon. De même que pour l'azote, le bilan massique annuel permet de mettre en évidence un rôle direct plutôt négligeable des végétaux dans la rétention de ces éléments. En revanche, cela met aussi en lumière l'importance de faucher la biomasse aérienne et de récolter les végétaux flottants afin d'éviter un retour au milieu récepteur de ces quantités captées qui contribuerait à une dégradation de l'eau.

7. CONCLUSION

L'objectif de la ZRV de Marguerittes consiste en une protection supplémentaire du milieu récepteur de surface via une réduction du flux polluant résiduel de la station de traitement des eaux usées. Une ZRV ne peut pallier des dysfonctionnements chroniques de la station de traitement des eaux usées ; la ZRV de « Marguerittes » a montré sa capacité à pallier des épisodes de dysfonctionnement **sous réserve qu'ils ne dépassent pas 24 à 36 h.**

Pour réduire les flux polluants résiduels issus de la station de traitement des eaux usées, deux possibilités existent :

- la réduction des volumes,
- la diminution des concentrations dans l'eau par dégradation et/ou changement⁴ de compartiments du ou des polluants vers les plantes ou le sol.

Ces deux possibilités sont dépendantes entre elles ; le transit de l'eau usée traitée vers l'un des trois compartiments de la ZRV que sont l'« eau », les « plantes » et/ou le « sol » est déterminant pour que le polluant puisse effectivement changer de compartiment et être extrait de l'eau de surface. Par exemple, un sol argileux peut avoir une faible capacité d'infiltration tout en ayant un fort pouvoir adsorbant. La méthodologie retenue en terme de flux massiques sous forme de bilan de matière intègre ces aspects, tant de quantité que de qualité, et ce, pour chaque compartiment.

Réduction des volumes

Afin de réduire les volumes vers le milieu hydraulique superficiel, outre le stockage temporaire (non étudié dans le cadre de ce programme), il ne faut compter ni sur l'évaporation, qui, mesurée dans le projet « Marguerittes » dans le Gard n'a pas dépassé 10 mm/j, ni sur l'évapotranspiration par les plantes évaluée à des quantités équivalentes à l'évaporation. Seule l'infiltration dans le sol constitue la solution la plus réaliste (Cf. projet Roseev).pour une réduction efficace des volumes non évaluée dans le cadre de ce projet où les bassins sont étanches.

Diminution des concentrations dans l'eau de surface

La diminution des concentrations en polluants dans l'eau de surface s'explique grâce aux processus majoritaires d'évolution des polluants dans le compartiment « eau » ainsi qu'à leur transfert dans les compartiments « plantes » et « sol » (incluant l'eau du sol).

Dans le compartiment « eau », c'est-à-dire dans la tranche d'eau superficielle :

- le processus physique de sédimentation des particules sous l'action de la gravité est bien réel, quantifié au travers de l'évolution du paramètre MES. Ce processus physique de décantation s'applique à la totalité des polluants, dans leur forme particulaire, ainsi qu'aux indicateurs bactériologiques. À titre d'exemple, les métaux Al, Cr, Fe et Pb dont la forme est majoritairement particulaire peuvent avoir des concentrations en diminution.

⁴ Le changement d'état sous forme gazeuse est également une possibilité qui n'a pas été évaluée dans le cadre de ce programme.

- les Ultra Violets pénètrent dans cette tranche d'eau superficielle, ou tout au moins dans les 20 premiers cm, grâce à l'ensoleillement. Ainsi, la photolyse contribue à une élimination importante (facteur 100 à 1 000) des indicateurs bactériologiques (*E.coli*) et à la diminution de quelques micropolluants photodégradables (cf Vivant *et al.* 2016). L'élimination de *E.coli* est assez rapide (1 à 2 jours de temps de séjour), tandis qu'elle est lente pour de nombreux micropolluants : un temps de séjour d'au moins 7 jours est nécessaire pour réduire de moitié les concentrations de 23 micropolluants sur un total de 44 micropolluants analysés.
- l'oxydation biologique des paramètres azotés NH_4^+ est modeste lorsque les temps de séjour hydraulique ne dépassent pas 3 à 4 jours. Les concentrations de quelques substances pharmaceutiques et d'un micropolluant de la famille des alkylphénols diminuent, probablement par biodégradation ou sorption pour la même gamme de temps de séjour.

Ainsi, dans la tranche d'eau libre, les évolutions de nombreux paramètres sont faibles, excepté pour *E.coli* ou ceux dont la forme particulaire est dominante par rapport à celle qui est dissoute.

Au fond des ouvrages, les dépôts s'accumulent par sédimentation et évoluent au cours du temps, en fonction des apports en matières particulaires. S'il est possible que les dépôts contribuent par sorption à retenir quelques polluants, ils ont aussi un impact négatif sur les concentrations dans l'eau et l'enrichissent en polluants, soit par minéralisation de la matière organique, soit par désorption (Cf. C.3.3.). Le bassin B1 retient les MES. Ces dépôts doivent être curés pour que le fonctionnement de la ZRV se réalise dans des conditions optimales.

Dans le compartiment « plantes » :

- le mécanisme dominant est l'absorption directe par les végétaux. De plus, au niveau du système racinaire des plantes enracinées, s'ajoutent deux mécanismes qui expliquent les résultats : la formation d'exsudats racinaires susceptibles de posséder un effet bactéricide qui expliqueraient la diminution de concentration en *E Coli* constatée ainsi que des processus d'adsorption de certains métaux (en lien avec la précipitation des oxydes et hydroxydes de fer). Ce programme a mis en exergue le fait que l'absorption par les plantes n'explique qu'une part infime de la diminution des concentrations. Cependant, avec des surfaces plantées importantes (de l'ordre de 5 à 10 m²/EH) et des concentrations en eaux usées traitées faibles à très faibles en entrée de ZRV, la part absorbée par les plantes peut devenir moins symbolique vis-à-vis de la charge journalière appliquée et engendrer une réduction de concentrations de quelques dixièmes de mg/L.

De plus, l'ombrage généré par les feuilles du végétal ou le développement des végétaux flottants en surface limitent la pénétration des UV dans la tranche d'eau pouvant conduire à l'installation de conditions anaérobies. La présence des plantes devient alors néfaste et leur récolte est nécessaire. De plus, l'apport en carbone biogénique dans l'eau, lors de la senescence des plantes à chaque automne, n'est pas négligeable (de 0,9 à 1,4 kgC/m² selon les espèces analysées).

Éléments de conception/dimensionnement

A partir de ces principaux résultats, une zone de sédimentation est à créer en tête de ZRV avec des bases de dimensionnement permettant un écoulement lent inférieur à 0,6 m/h. Cette proposition dépend davantage de la station de traitement des eaux usées et des apports réguliers en MES (et de ses éventuels dysfonctionnements, notamment en présence d'un clarificateur) que des attentes assignées

à la ZRV. A la suite de cette zone de sédimentation, les aménagements dépendent des objectifs de réduction des flux polluants, objectifs spécifiques à chaque ZRV.

Éléments de gestion / exploitation

Une ZRV nécessite une exploitation régulière pour assurer, a minima, le bon écoulement des eaux, sans obstruction de canalisation, effondrements de berges, etc. Les tâches régulières d'exploitation demandent du sens de l'observation et sont similaires à l'entretien d'espaces verts (avec la particularité des risques sanitaires). En revanche, dès qu'un développement de végétaux flottants apparaît, l'importance de leur récolte a déjà été mentionnée. Le faucardage des végétaux enracinés est à organiser à chaque automne, avec exportation des tiges mais aussi des débris hors de la tranche d'eau. Le curage des boues fait également partie des tâches complexes et réfléchies dès la conception du site.

8. BIBLIOGRAPHIE

Boutin C., Walaszek M. 2014. Zone de rejet végétalisée de Marguerittes (30), Contexte général. Rapport final. Programme 2013-2015 Irstea-Onema, 18 p.

Boutin C., Bourgeois V., Crétollier C., Choubert J.M., Coquery M., Dherret L., François A., Geffard O., Masson M., Miège C., Panay J. Pourcher A.M., Prost-Boucle S., Walaszek M. 2014. Descriptif du matériel des points de mesures et des protocoles pour l'étude de la ZRV de Marguerittes. Rapport final. Programme 2013-2015 Irstea-Onema, 24 p.

Choubert J.M., Crétollier C., Tahar A., Budzinski H., Esperanza M., Dherret L., Le Menach K., Noyon N., Miège C., Coquery M. (2015). Quels micropolluants peut-on éliminer par les procédés extensifs de traitement des eaux usées domestiques ? Techniques, Sciences et Méthodes, 3, 51-66.

Choubert J.M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Lagarrigue C., Coquery M. (2011). Evaluer les rendements en stations d'épuration. Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. Techniques, Sciences et Méthodes 1/2, 44-62.

Coquery M., Pomies M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Choubert J-M. (2011). Mesurer les micropolluants dans les eaux usées brutes et traitées. Protocoles et résultats pour l'analyse des concentrations et des flux. Techniques, Sciences et Méthodes 1/2, 25-43.

Eymery F., Choubert J.M., Lepot B., Gasperi J., Lachenal J., Coquery M. 2011. Guide technique : Guide technique opérationnel : Pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants prioritaires et émergents en assainissement collectif et industriel. Première version. Irstea/Cemagref, 85 p.

Guerreiro H., Papias S., Bertrin V., Coquery M., Dherret L., Arhror M., Masson M., Boutin C. 2019. Estimation de la biomasse végétale et des masses de polluants associées potentiellement exportables de la zone de rejet végétalisée de Marguerittes. Rapport final. Programme Irstea-Onema 2016-2018, [A venir]

Mathon B., Vandycke A., Coquery M., Bados P., Daval A., Crétollier C., Masson M., Arhror M., Miège C., Choubert J.M. (2017). Photodégradation de micropolluants organiques sous rayonnement solaire en zone de rejet végétalisée de type bassin. Rapport final. Irstea-ONEMA, 64 p.

Ministère de l'agriculture, Cemagref Lyon, CSTB (1998). Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Documentation technique FNDAE n°22, 96 p.

NF EN ISO 11885 : Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)

NF T 90-210 : Qualité de l'eau : Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire

Racault Y. et al (1997) Le lagunage naturel - Leçons tirées de 15 ans de pratiques en France, 60 p.

Vivant A.L., Pourcher A.M., Boutin C. 2017. Impact de la ZRV de Marguerittes (30) sur le comportement des E. coli et des E. coli productrices de β -lactamases à spectre étendu. Rapport final. Programme Irstea-Onema 2016-2018, 48 p.

Vivant A-L., Boutin C., Prost-Boucle S., Papias S., Hartmann A., Ziebal C., Le Roux S., Pourcher A.M. 2016. Free water surface constructed wetlands limit the dissemination of extended-spectrum beta-lactamase producing Escherichia coli in the natural environment. Water Research 104, p178-188

9. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Photos

Photo 1 : Bassin B1 lors de sa vidange pour travaux (au premier plan, la zone située proche du bypass dont la vidange est plus simple. Derrière la digue, l'eau est restée bloquée et ne s'est pas infiltrée).....	29
Photo 2 : Canne de prélèvement utilisée pour la bathymétrie	41

Tableaux

Tableau 1 : Dimensions prévues des bassins et des zones avec de la végétation	6
Tableau 2 : Quelle surface concernée par quel échange ?	8
Tableau 3 : Pourcentage de données existantes sur les mesures de débits selon les points de mesure (sur la période Juillet-Décembre 2014, année 2015, année 2016 et Janvier-Avril 2017).....	9
Tableau 4 : Débits nominaux de fonctionnement	10
Tableau 5 : Nombre de jours où le débit est supérieur au débit nominal de temps sec (2250 m ³ /j) et de temps de pluie (3050 m ³ /j)	10
Tableau 6 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie de la ZRV et pertes en eau associées.....	11
Tableau 7 : Débits mesurés lors des bilans 24h Irstea (nov. 2014 à oct. 2015).....	12
Tableau 8 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie du B1 et pertes en eau associées	14
Tableau 9 : Débits moyens journaliers en entrée et sortie du B2 et pertes en eau associées	16
Tableau 10 : Pluviométrie et débits supplémentaires journaliers induits	19
Tableau 11 : Evaporation et perte en eau associée.....	20
Tableau 12 : Evapotranspiration et pertes associées (* valeurs fournies pour comparaison, déjà présentées au Tableau 11)	23
Tableau 13 : Hauteur en mm/j de stockage ou déstockage d'eau et débits associés (en m ³ /j)	24
Tableau 14 : Pertes en eau sur la ZRV	28
Tableau 15 : Caractéristiques du traçage du bassin 1 effectué en octobre 2015.....	34
Tableau 16 : Caractéristiques du traçage du bassin B2 effectué en février 2016.....	35
Tableau 17 : Caractéristiques du traçage de l'ensemble de la ZRV (B1+ B2) effectué en octobre 2015	36
Tableau 18 : Hauteur de boues et taux de remplissage en 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018 dans B1 et B2	42
Tableau 19 : Volumes de boues calculés à partir des hauteurs mesurées à partir de R en 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018 sur les bassins 1 et 2.....	44
Tableau 20 : Masses de MES (en kg) dans les bassins de la ZRV	46
Tableau 21 : Analyses de boues en paramètres carbonés, azote et phosphore en octobre 2015	47
Tableau 22 : Masses de N (en kg) dans les bassins de la ZRV	47
Tableau 23 : Masse de Pt (en kg) dans les bassins de la ZRV.....	47
Tableau 24 : Echantillons de boue prélevés dans la ZRV en vue de l'analyse des métaux lors de la campagne d'octobre 2015	48
Tableau 25 : Concentrations en métaux (en mg/kg de poids sec) dans les boues de la ZRV et du clarificateur de la STEU prélevées lors de la campagne d'octobre 2015. (Classement par concentrations en métaux croissantes dans l'échantillon 5-1S).	49
Tableau 26 : Evolution des métaux dans les boues de la ZRV lors de la campagne d'octobre 2015 dans le B1 puis dans l'ensemble de la ZRV (B1 + B2).....	51

Tableau 27 : Seuils réglementaires en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètres carbonés)	53
Tableau 28 : Concentrations et charges moyennes en entrée de ZRV en DCO, DBO, COT, COD et MES (mars 2015 à février 2017)	55
Tableau 29 : Comparaison des charges surfaciques moyennes appliquées en DCO, DBO ₅ et MES sur la ZRV de Marguerittes à celle d'un lagunage naturel pour le traitement des eaux usées brutes	57
Tableau 30 : Ratios DCObrute /COT des bilans 24h Irstea et prélèvements ponctuels en entrée de ZRV	58
Tableau 31 : Concentrations, charges et rendements en matières carbonées (bilans 24h Irstea) - NQ : non quantifiable	63
Tableau 32 : Seuils en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètres azotés)	65
Tableau 33 : Concentrations et charges moyennes en entrée de ZRV en paramètres azotés (mars 2015 à février 2017)	66
Tableau 34 : Comparaison des charges moyennes appliquées en NK et NGL sur la ZRV de Marguerittes par rapport à du lagunage naturel (traitement des eaux usées brutes).....	66
Tableau 35 : Limites de quantification et incertitudes de mesures des analyses et mesures in-situ en N-NH ₄ ⁺ et N-NO ₃ (sondes).....	68
Tableau 36 : Nombre de jours de dépassement des charges en sortie de la station d'épuration de Marguerittes pour 2 types de seuils de rejet réglementaires : seuils actuels et parc épuratoire français moyen.....	72
Tableau 37 : Charges traitées et rendements en N-NH ₄ ⁺ lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier et février 2015) .	76
<i>Tableau 38 : Charges traitées et rendements en N-NO₃ (potentiel de nitrification inclus) lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier à mars 2015).....</i>	<i>79</i>
Tableau 39 : Charges traitées et rendements en NGL lors des épisodes de dysfonctionnement (janvier à mars 2015).....	81
Tableau 40 : Concentrations, charges et rendements en azote (bilans 24h Irstea)	84
Tableau 41 : Seuils réglementaires en sortie de la station d'épuration de Marguerittes (paramètre phosphore)	88
Tableau 42 : Concentrations et charges moyennes en entrée ZRV en paramètres phosphorés (mars 2015 à février 2017) ..	88
Tableau 43 : Comparaison des charges moyennes appliquées en Pt sur la ZRV de Marguerittes par rapport à du lagunage naturel (traitement des eaux usées brutes)	88
Tableau 44 : Concentrations, charges et rendements en phosphore (bilans 24h Irstea)	92
Tableau 45 : Campagnes de prélèvements sur la ZRV (débit Q1) en vue de l'analyse des métaux et des micropolluants organiques.....	94
Tableau 46 : Micropolluants analysés, méthodes analytiques et limites de quantification.....	96
Tableau 47 : Concentrations moyennes en µg/L des métaux dissous en entrée (point 2), sortie B1 (point 3) et sortie de la ZRV (point 12) avec la variabilité journalière (% RPD) et la variabilité inter-campagnes (% RSD). Les valeurs supérieures à 30 % sont signalées en jaune.	98
Tableau 48 : Synthèse de l'évolution moyenne (%) des concentrations en métaux dissous dans le B1 et entre l'entrée et la sortie de la ZRV (B1 + B2).	102
Tableau 49 : Récapitulatif des rendements d'élimination des métaux pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes.	112
Tableau 50 : Récapitulatif des rendements d'élimination des micropolluants organiques pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes (mars 2015).	113
Tableau 51 : Masses de NK (en kg) par zone de prélèvement et masse totale dans le bassin B1	117
Tableau 52 : Masses d'azote dans les différents végétaux (octobre 2015).....	117
<i>Tableau 53 : Estimation des masses annuelles d'azote contenues dans les plantes : parties aérienne et immergée et dans chaque bassin de la ZRV</i>	<i>118</i>
Tableau 54 : Masses de Pt (en kg) par zone de prélèvement et masse totale dans le bassin B1	120
Tableau 55 : Masses de phosphore dans les végétaux (octobre 2015).....	120
<i>Tableau 56 : Estimation des masses annuelles de phosphore contenues dans les plantes : parties aérienne et immergée et dans chaque bassin de la ZRV.....</i>	<i>121</i>

Tableau 57 : analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 prélevées en novembre 2017.....	133
Tableau 58 : analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 prélevées en septembre 2018.....	133
Tableau 59 : Micropolluants analysés, méthodes analytiques et limites de quantification (oct.-13).	140
Tableau 60 : Codes échantillons et points de mesures des POCIS - Bilan 24h d'octobre 2013 (triplicat de POCIS à chaque point + 1 blanc au point 3, noté 'bl').	145

Figures

Figure 1 : Plan de la ZRV	6
Figure 2 : Schéma des échanges d'eau dans la ZRV.....	8
Figure 3 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie de ZRV en m ³ /j de juillet 2014 à avril 2017.....	13
Figure 4 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie du B1 en m ³ /j de juillet 2014 à avril 2017	15
Figure 5 : Evolution des débits journaliers en entrée et sortie du B2 en m ³ /j de juillet 2014 à avril 2017.....	17
Figure 6 : Influence de la pluviométrie sur le débit d'entrée de la ZRV.....	18
Figure 7 : Pluviométrie et évaporation journalière	21
Figures 8 : Diminution de la hauteur d'eau dans l'évaporomètre au mois de juillet 2015.....	22
Figure 9 : Marnage du B1 et débit journalier en entrée de ZRV.....	26
Figures 10 : Marnage du B1 sur une semaine (à gauche) et sur une journée (à droite).....	26
Figure 11 : Evolution des débits journaliers en entrée, intermédiaire et sortie de ZRV du 1 ^{er} juillet 2014 au 30 avril 2017 avec changement de débit dans le B2 au 3 mars 2016	27
Figures 12 : Comparaison des bilans hydriques sur la ZRV, le B1 et le B2, à débit Q1, à gauche (n = 183) et à débit Q2, à droite (n = 128).....	28
Figure 13 : Surfaces étanchées (en rouge) sur la ZRV.....	29
Figure 14 : Evolution des coefficients de pointe d'entrée, intermédiaire et de sortie de la ZRV	37
Figure 15 : Comparaison des coefficients de pointe à débit Q1 (à gauche), à débit Q2 (à droite).....	38
Figure 16 : Evaluation du lissage hydraulique à débit Q1 (à gauche), à débit Q2 (à droite).....	38
Figure 17 : Vitesse ascensionnelle des MES (décantabilité des boues) en entrée de B1 au cours de la période d'étude du débit Q1.....	39
Figure 18 : Points de mesures de la bathymétrie (à gauche) et hauteurs de boues mesurées (à droite) dans le bassin B1	42
Figure 19 : Comparaison des bathymétries de 2014, 2015, 2016, 2017 et 2018	42
Figure 20 : Evolution des paramètres MS, MV, NT, PT et CTP au cours des bathymétries réalisées de 2015 à 2018 en 6 points de la ZRV en % de Matière Brute (MB).....	45
Figure 21 : Concentrations en métaux en mg/kg de poids sec dans les boues de la ZRV et du clarificateur de la STEU prélevées lors de la campagne d'octobre 2015. (Classement par concentrations croissantes dans l'échantillon 5-1S Boue clarificateur).	50
Figure 22 : Évolution des concentrations en paramètres carbonés au cours du temps sur la ZRV (mesures Irstea)	58
Figure 23 : Lien DCO brute avec COT en entrée de ZRV	59
Figures 24 : Evolution des concentrations en DCO brute et filtrée (gauche), DBO ₅ , COT, COD et MES (droite) au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015)	59
Figures 25 : Evolution des concentrations en DCO brute et filtrée (gauche), DBO, COT, COD et MES (droite) au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 16 octobre 2015).....	60
Figure 26 : Bilan de charges du COT (mars 2015 à février 2017).....	65
Figure 27 : Évolution des concentrations en paramètres azotés au cours du temps sur la ZRV (données issues des prélèvements Irstea)	68

Figure 28 : Évolution des concentrations en N-NH ₄ ⁺ (haut) et N-NO ₃ ⁻ réelles (bas) au cours du temps sur la ZRV (données en continu issues des sondes)	69
Figure 29 : Représentation des charges journalières excédentaires en azote en sortie de station et envoyées vers la ZRV (données issues des sondes)	70
Figure 30 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en N-NH ₄ ⁺ (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes	73
Figure 31 : Charges en N-NH ₄ ⁺ (données sondes) de janvier 2015 à avril 2017.....	75
Figure 32 : Nombre de jours par mois avec rendement en N-NH ₄ ⁺ > 50 % (données sondes).....	76
Figure 33 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en N-NO ₃ ⁻ réels (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes.....	77
Figure 34 : Nombre de jours par mois avec rendement en N-NO ₃ ⁻ > 50 % (données sondes), incluant le potentiel de nitrification.....	77
Figure 35 : Charges en N-NO ₃ ⁻ réel (données sondes), incluant le potentiel de nitrification au sein des bassins	78
Figure 36 : Evolution des concentrations en N-NO ₃ ⁻ d'entrée ZRV et sorties mesurées par les sondes (moyennes journalières) lors d'un dysfonctionnement de la station en mars 2017 (charges non calculables car données de débits absentes)	79
Figure 37 : Concentrations (gauche) et rendements (droite) en NGL (boîtes à moustaches) sur la base des données des sondes	80
Figure 38 : Nombre de jours par mois avec rendement en NGL > 50 % (données sondes).....	80
Figure 39 : Charges en NGL (données sondes)	81
Figure 40 : Evolution des concentrations en NGL d'entrée ZRV et sortie calculées à partir des sondes (moyennes journalières) lors d'un dysfonctionnement de la station de janvier à mars 2015	82
Figure 41 : Evolution des concentrations en azote au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015)	83
Figure 42 : Evolution des concentrations en azote au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 15 octobre 2015).....	83
Figure 43 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en azote sur chaque compartiment de la ZRV, pour les mesures de type « bilans 24h + ponctuels », pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)	87
Figure 44 : Évolution des concentrations en paramètres phosphorés au cours du temps sur la ZRV (données issues des prélèvements Irstea et autosurveillance).....	89
Figure 45 : Evolution des concentrations en phosphore au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 11 mars 2015).....	90
Figure 46 : Evolution des concentrations en phosphore au cours de la ZRV (bilan 24h Irstea du 15 octobre 2015)	90
Figure 47 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en phosphore sur chaque compartiment de la ZRV, pour les mesures de type « bilans 24h + ponctuels », pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)	93
Figure 48 : Rappel de la localisation des points de prélèvements en vue de l'analyse des micropolluants.....	94
Figure 49 : Pourcentage de fraction dissoute (% f _{diss}) des métaux en entrée de la ZRV (point 2) lors de la campagne d'octobre 2015 ; classement par % f _{diss} en J1 croissant.....	100
Figure 50 : Concentrations moyennes en métaux totaux (µg/L) en entrée ZRV Marguerittes (n = 2, les barres d'erreurs correspondent à l'écart moyen calculé entre les 2 valeurs), sortie traitement secondaire boue activée à aération prolongée du projet ARMISTIQ (AMQ, n = 4) et sortie traitement secondaire boue activée à aération prolongée AMPERES (n = 23). Les éléments sont classés par concentrations décroissantes mesurées à Marguerittes.....	101
Figure 51 : Concentrations en Fe, Mn, Zn, Al et Ti dissous (µg/L) aux points 2, 3, 6 et 12 de la ZRV pour les campagnes d'octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015 avec les LQ associées. Les graphiques sont classés par ordre de concentrations décroissantes retrouvées en entrée de ZRV.....	103
Figure 52 : Concentrations en As et Pb dissous (µg/L) aux points 2, 3, 6 et 12 de la ZRV pour les campagnes d'octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015 avec les LQ associées. Les graphiques sont classés par ordre de concentrations décroissantes retrouvées au point 2.....	104
Figure 53 : Concentrations (phase dissoute) en pesticides mesurées sur les échantillons moyens 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone	

libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (mars 2015).	105
Figure 54 : Concentrations (phase dissoute) en pharmaceutiques mesurées sur les échantillons moyens 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (mars 2015).	106
Figure 55 : Concentrations en micropolluants organiques mesurées dans les POCIS (ng/g), en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux croissants de concentrations au point 2. HG : hors gamme.	109
Figure 56 : Concentrations en micropolluants organiques recalculées dans l'eau (ng/L) après échantillonnage par POCIS, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux croissants de concentrations au point 2. HG : hors gamme.	110
Figure 57 : Ratios des concentrations (après échantillonnage moyen 24h d'eau / après échantillonnage intégré sur 14j par POCIS) aux jours 1 et 2 et aux points 2, 3, 6, 9 et 12 de la ZRV. Avec 1 : Isoproturon, 2 : Diazépam, 3 : Pirimicarb, 4 : Alprazolam, 5 : Cyclophosphamide, 6 : Atrazine, 7 : Gemfibrozil, 8 : Nordiazépam, 9 : Diuron, 10 : Simazine, 11 : Déisopropylatrazine, 12 : Imidaclopride, 13 : Triméthoprim, 14 : Erythromycine, 15 : Amitriptyline, 16 : Kétoprofène, 17 : Métoprolol, 18 : Clarithromycine, 19 : Oxazépam, 20 : Sulfaméthoxazole, 21 : Ofloxacine, 22 : Propranolol, 23 : Sotalol. .	111
Figure 58 : Nombre de rendement d'élimination calculé par famille de micropolluants, et par classe de rendements R_w pour le bassin B1, et l'association B1+B2 de la ZRV de Marguerittes (mars 2015).	112
Figure 59 : Bilan de charges en azote dans le compartiment eau, calculé sur la base des données de bilans 24h et prélèvements ponctuels (débit Q1, mars 2015 à février 2016).	116
Figure 60 : <i>Bilan azote simplifié - Exemple du NGL (en tonnes de NGL/an)</i>	119
Figure 61 : Bilan de charges en phosphore dans le compartiment eau, calculé sur la base des données de bilans 24h et prélèvements ponctuels (débit Q1, mars 2015 à février 2016).	119
Figure 62 : <i>Bilan phosphore simplifié - Exemple du Pt (en kg de Pt/an)</i>	121
Figure 63 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en azote sur chaque compartiment de la ZRV, pour chaque type de mesure, pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)	134
Figure 64 : Synthèse des charges annuelles traitées en phosphore sur chaque compartiment de la ZRV, pour chaque type de mesure, pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)	135
Figure 65 : Fréquence de quantification des métaux dissous aux points 2 (n = 5), 3 (n = 5) et 12 (n = 5) au cours des 3 campagnes de prélèvement (octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015) de la ZRV Marguerittes.	136
Figure 66 : Fréquence de quantification des métaux dans la phase particulaire au point 2 (n = 2) au cours de la campagne d'octobre 2015 sur la ZRV Marguerittes.	136
Figure 67 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées, sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, aux points 1 (sortie STEU-Point 1), 2 (entrée ZRV-Point 2), 3 (sortie B1-Point 3) et 12 (sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes (octobre 2013).	137
Figure 68 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes.	138
Figure 69 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes.	139
Figure 70 : Concentrations (phase dissoute) en micropolluants d'origine urbaine mesurées, sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, aux points 1 (sortie STEU-Point 1), 2 (entrée ZRV-Point 2), 3 (sortie B1-Point 3) et 12 (sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (octobre 2013).	141
Figure 72 : Concentrations (phase dissoute) en pesticides mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (juillet 2015).	143

Figure 73 : Concentrations (phase dissoute) en pharmaceutiques mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (juillet 2015). 144

Figure 71 : Concentrations en micropolluants d'origine urbaine moyennées sur 14 jours, déterminées par échantillonnage POCIS aux points n°2 (entrée ZRV-MAG2), n°3 (sortie B1-MAG3) et n°11 (filtre en sortie B2-MAG11). Classement par niveaux de concentrations décroissants, a), b), c)..... 146

10. ANNEXES

Annexe 1 : Analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 en 2017 et 2018

Tableau 57 : analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 prélevées en novembre 2017

Paramètres	Séd1	Séd2	Séd3	Séd6	Séd9	Séd12
COD (Therm.) (mg/L)	18,7	18,9	16,2	22,4	22,0	24,3
N-NH ₄ ⁺ (C.I.) (mg/L)	12,5	8,2	4,9	8,1	13,5	6,2
N-NO ₂ ⁻ (C.I.) (mg/L)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
N-NO ₃ ⁻ (C.I.) (mg/L)	2,73	2,71	2,77	2,75	2,69	2,70
NT f (mg/L)	14,6	10,5	6,60	10,6	15,6	8,60
P-PO ₄ ³⁻ (C.I.) (mg/L)	17,5	2,09	1,24	1,28	1,03	0,93

Tableau 58 : analyses de l'eau interstitielle des boues du B1 prélevées en septembre 2018

Paramètres	Séd1	Séd2	Séd3	Séd6	Séd9	Séd12
N-NH ₄ ⁺ (C.I.)	27,7	20,1	20,8	18,1	20,4	18,7
N-NO ₂ ⁻ (C.I.)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
N-NO ₃ ⁻ (C.I.)	< 0,45	< 0,45	< 0,45	< 0,45	< 0,45	< 0,45
NT f	42,8	23,4	25,3	21,7	24,2	22,2
P-PO ₄ ³⁻ (C.I.)	12,0	1,31	1,96	1,73	2,29	2,46

Annexe 2 : Bilans de charges en azote et phosphore à débits Q1 et Q2

Charges en azote :

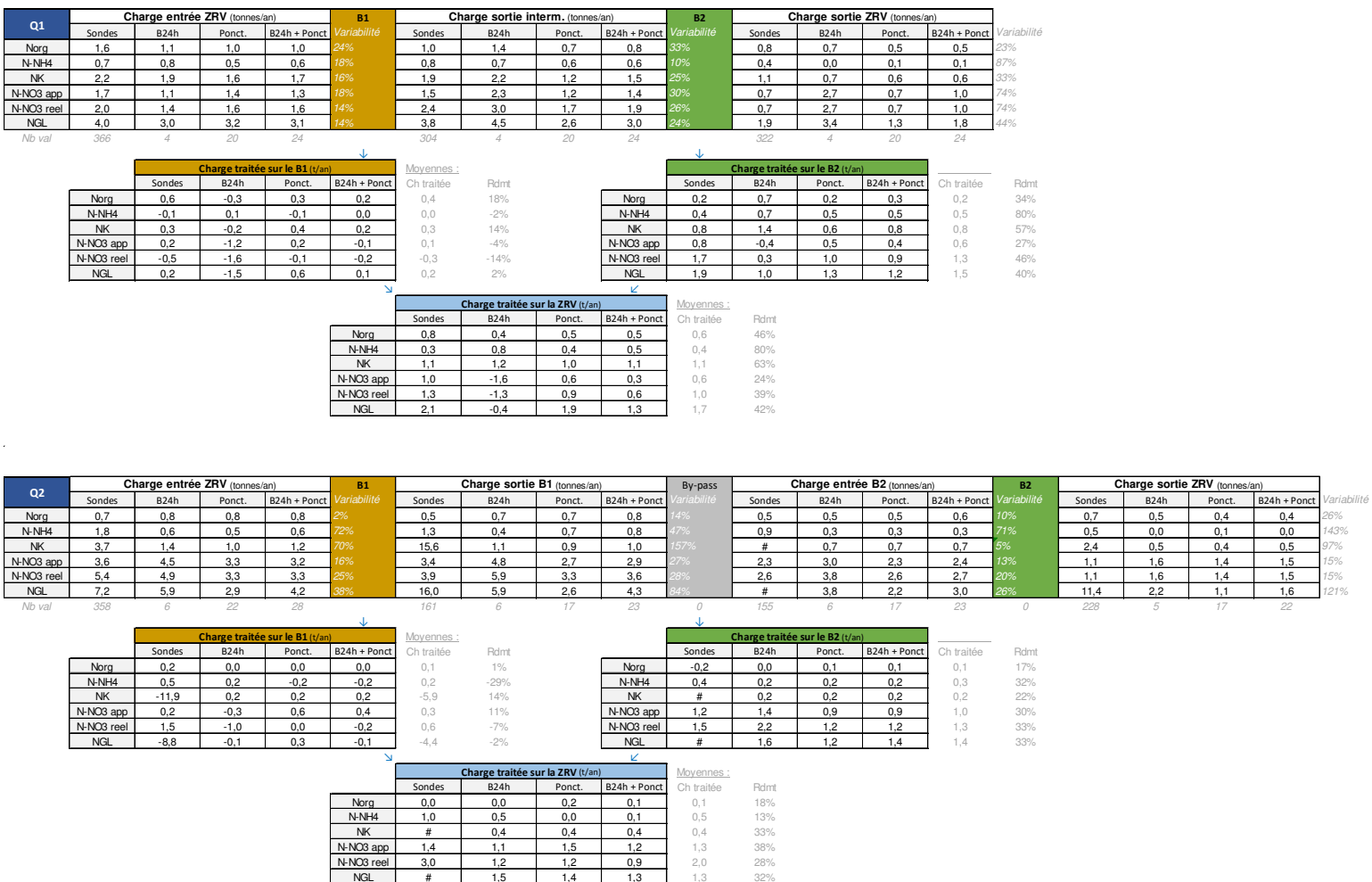


Figure 63 : Synthèse des charges annuelles moyennes traitées en azote sur chaque compartiment de la ZRV, pour chaque type de mesure, pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)

Q1	Charge entrée ZRV (kg/an)			B1 Variabilité	Charge sortie interm. (kg/an)			B2 Variabilité	Charge sortie ZRV (kg/an)			Variabilité
	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		B24h	Ponct.	B24h + Ponct.	
Pt	325	368	355	6%	169	206	206	71%	65	154	131	40%
P-PO4	95	124	117	14%	66	145	123	36%	48	118	97	41%
P org	231	244	238	3%	97	61	73	24%	17	36	33	37%
Nb val	4	10	14		3	10	13		4	10	14	

Charge traitée sur le B1 (kg/an)				Moyennes :	Charge traitée sur le B2 (kg/an)				
B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Rdmt	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Rdmt
Pt	156	162	149	42%	Pt	105	51	75	37%
P-PO4	28	-21	-6	-5%	P-PO4	18	27	26	21%
P org	134	183	166	70%	P org	80	25	39	54%

Charge traitée sur la ZRV (kg/an)				Moyennes :
B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Rdmt
Pt	261	214	225	63%
P-PO4	47	6	20	17%
P org	214	208	205	86%

Q2	Charge entrée ZRV (kg/an)				B1 Variabilité	Charge sortie B1 (kg/an)				By-pass Variabilité	Charge entrée B2 (kg/an)				B2 Variabilité	Charge sortie ZRV (kg/an)				Variabilité
	Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.	
Pt	-	201	112	129	32%	-	145	101	125	18%	-	94	71	79	14%	-	65	37	37	35%
P-PO4	-	114	40	49	59%	-	96	31	37	65%	-	62	25	27	55%	-	43	21	23	43%
P org	121	88	73	82	23%	122	49	69	87	34%	43	31	44	50	18%	324	22	17	12	164%
Nb val	357	6	8	14		22	6	7	13		13	6	7	13		212	5	7	12	

Charge traitée sur le B1 (kg/an)					Moyennes :	Charge traitée sur le B2 (kg/an)							
Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Ch traitée	Rdmt	Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.	Ch traitée	Rdmt	
Pt	-	56	11	4	4	3%	Pt	-	29	34	42	42	53%
P-PO4	-	17	9	11	11	23%	P-PO4	-	19	5	4	4	16%
P org	-1	39	5	-5	-5	-6%	P org	-281	9	28	37	37	75%

Charge traitée sur la ZRV (kg/an)					Moyennes :	
Sondes	B24h	Ponct.	B24h + Ponct.		Ch traitée	Rdmt
Pt	-	85	45	46	46	36%
P-PO4	-	37	14	16	16	32%
P org	-282	48	33	33	33	40%

Figure 64 : Synthèse des charges annuelles traitées en phosphore sur chaque compartiment de la ZRV, pour chaque type de mesure, pour les débits Q1 et Q2 (mars 2015 à février 2017)

Annexe 3 : Micropolluants - Métaux

Détail des fréquences de quantification et des concentrations en métaux obtenues lors des différentes campagnes de prélèvement dans la ZRV

- **Fréquences de quantification des métaux**

1. Dans la fraction dissoute :

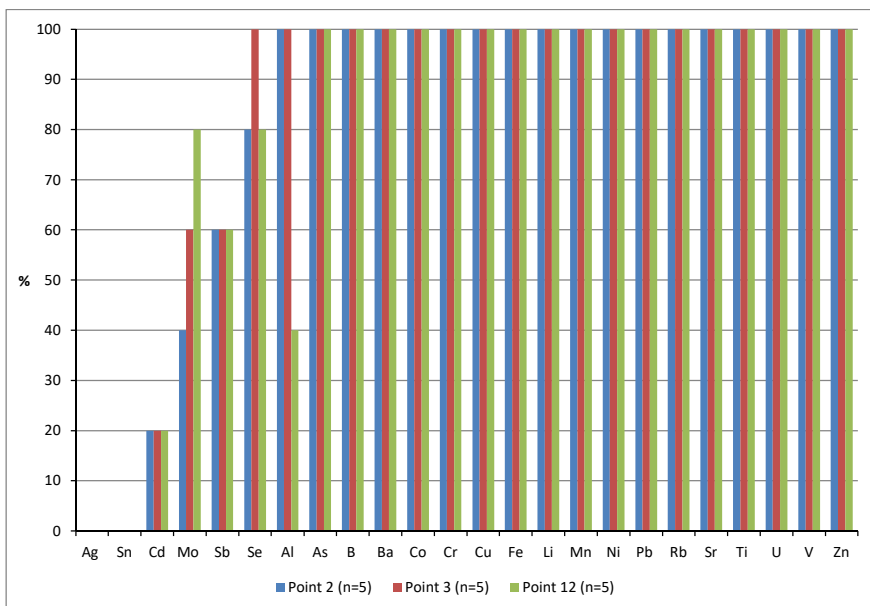


Figure 65 : Fréquence de quantification des métaux dissous aux points 2 (n = 5), 3 (n = 5) et 12 (n = 5) au cours des 3 campagnes de prélèvement (octobre 2013, mars 2015 et octobre 2015) de la ZRV Marguerittes.

2. Dans la fraction particulaire :

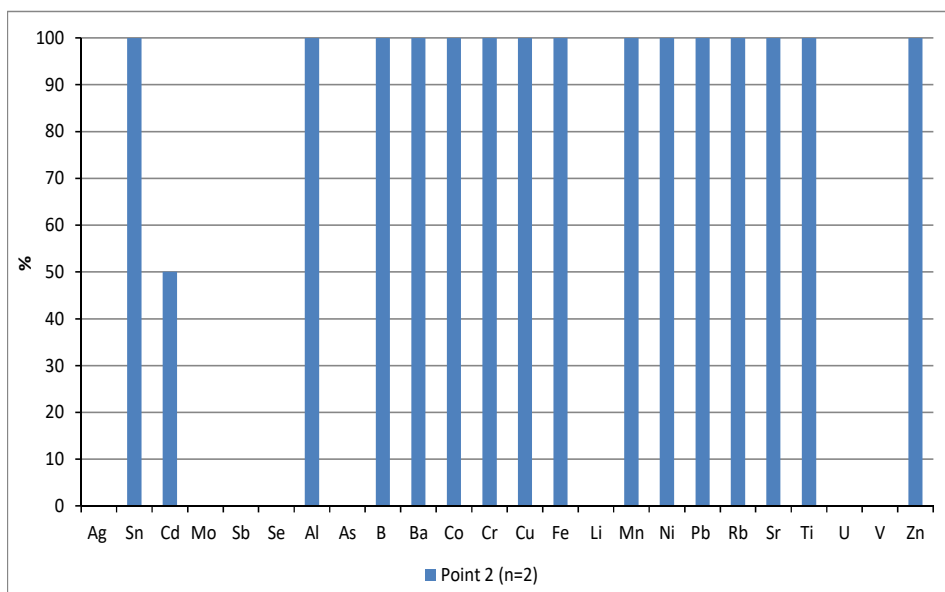


Figure 66 : Fréquence de quantification des métaux dans la phase particulaire au point 2 (n = 2) au cours de la campagne d’octobre 2015 sur la ZRV Marguerittes.

- **Concentrations en métaux obtenues lors des différentes campagnes de prélèvement**

1. Campagne réalisée les 23 et 24 octobre 2013 – échantillonnage moyen 24 heures d’eaux :

Le détail des concentrations dissoutes obtenues aux points 1, 2, 3 et 12 de la ZRV est présenté en Figure 67.

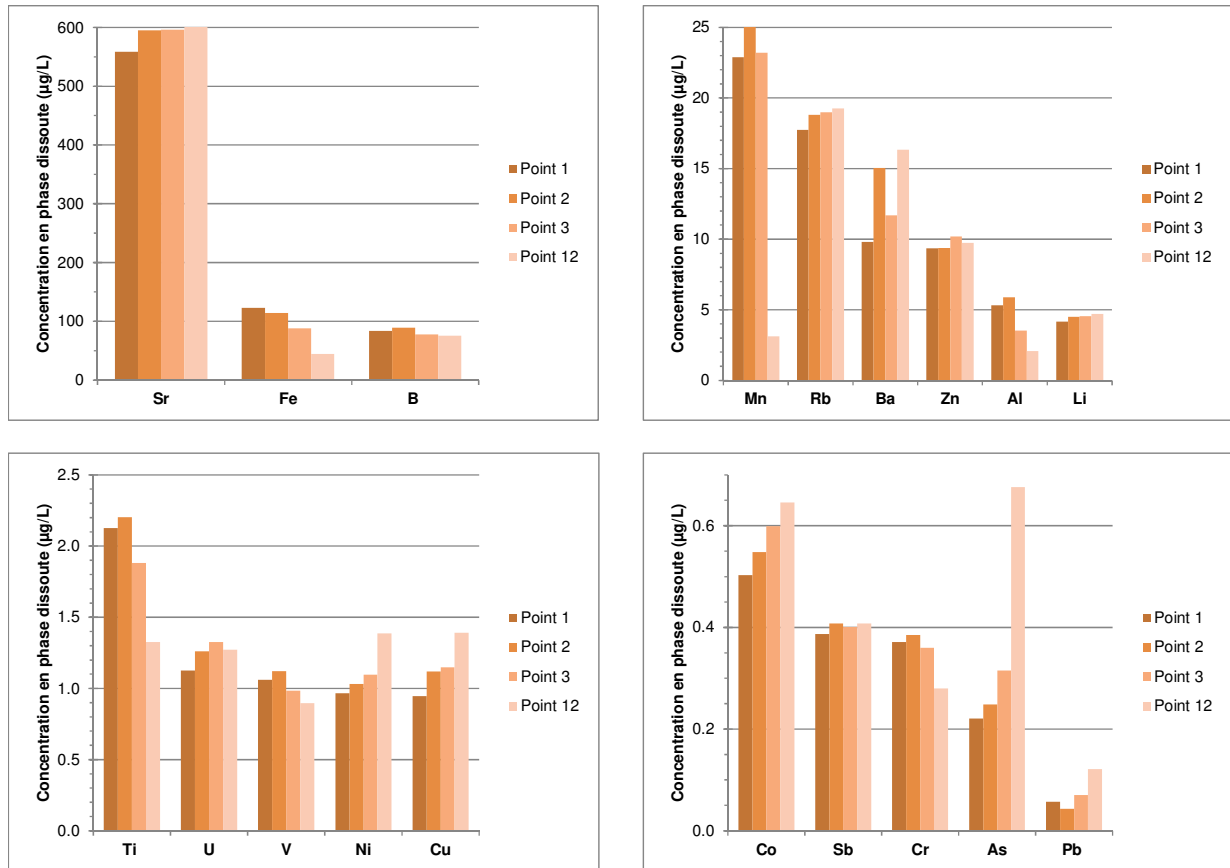
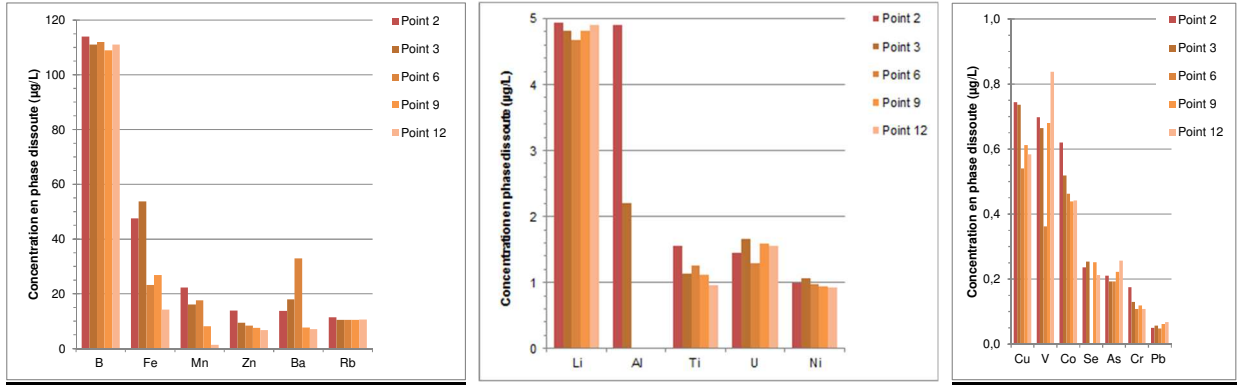


Figure 67 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées, sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, aux points 1 (sortie STEU-Point 1), 2 (entrée ZRV-Point 2), 3 (sortie B1-Point 3) et 12 (sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes (octobre 2013).

2. Campagne réalisée du 09 au 11 mars 2015 – échantillonnage moyen 24 heures d’eaux :

La Figure 68 présente les concentrations (phase dissoute) en métaux mesurées dans les échantillons prélevés aux points 2, 3, 6, 9 et 12 de la ZRV de Marguerittes le jour 1 (09-10/03/2015) et le jour 2 (10-11/03/2015). Les métaux quantifiés sont classés par concentrations décroissantes.

Jour 1



Jour 2

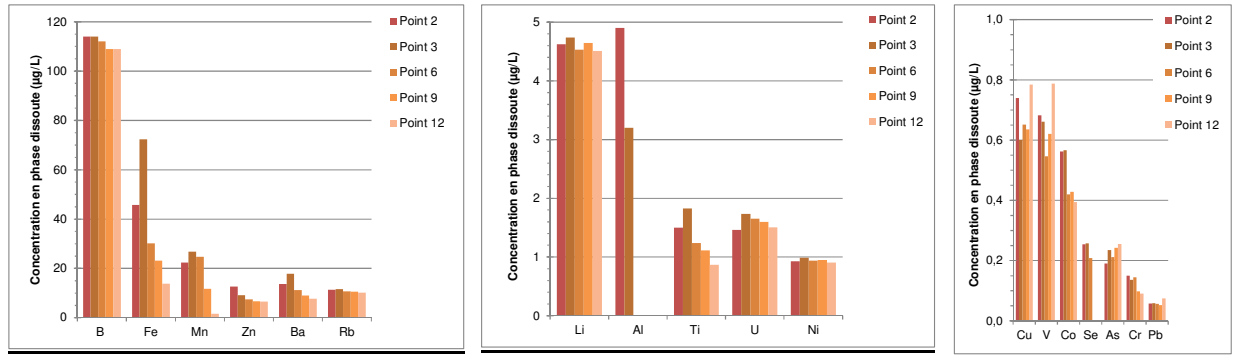
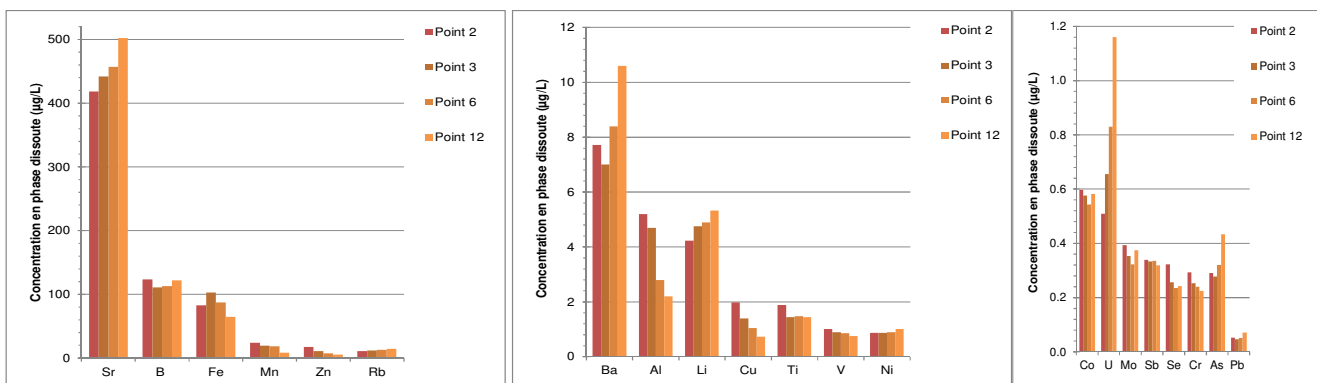


Figure 68 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 5 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 ; intermédiaire B2 dans zone libre à herbiers-Point 9 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes.

3. Campagne réalisée du 14 au 16 octobre 2015 – échantillonnage moyen 24 heures d’eaux :

La Figure 69 présente les concentrations dissoutes en métaux dans les échantillons prélevés aux points 2, 3, 6 et 12 de la ZRV de Marguerittes le jour 1 (14-15/10/2015) et le jour 2 (15-16/10/2015). Les métaux quantifiés sont classés par ordre de concentrations décroissantes.

Jour 1



Jour 2

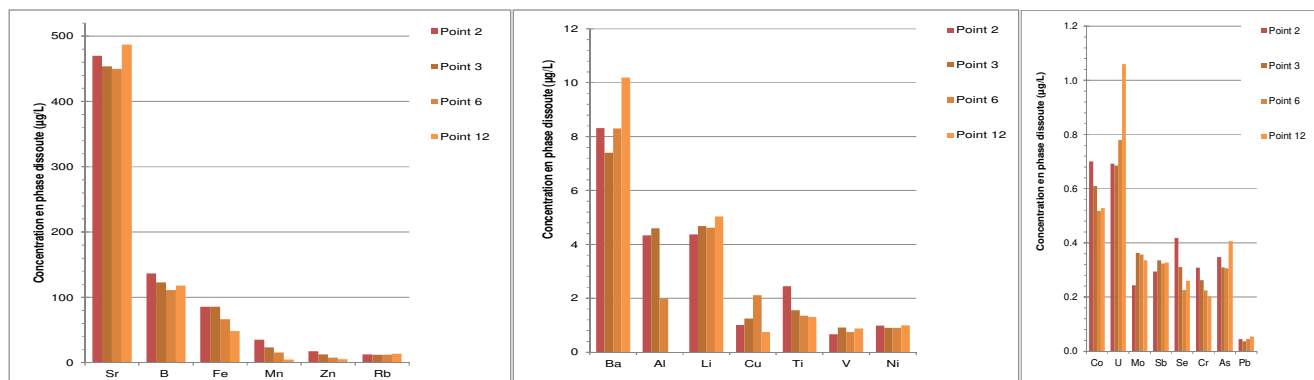


Figure 69 : Concentrations dissoutes en métaux mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par niveaux de concentrations décroissantes.

Annexe 4 : Micropolluants - Micropolluants organiques

Échantillonnage moyen 24 heures d'eaux Octobre 2013 et juillet 2015

Concentrations en micropolluants mesurées aux différents points de la ZRV de Marguerittes en octobre 2013

Les échantillons prélevés aux points 1 (sortie STEU), 2 (entrée ZRV), 3 (sortie B1) et 12 (sortie ZRV) ont été filtrés, puis analysés : 10 bêtabloquants ont été analysés au laboratoire LAMA d'Irstea, et 450 pesticides ont été analysés par le LDA26, selon les méthodes présentées dans le Tableau 59. Les limites de quantification (LQ) ont été comprises entre 0,4 et 2,2 ng/L pour les bêtabloquants. On estime que l'incertitude sur les concentrations est inférieure à 30% lorsque la concentration est supérieure à 5 fois la limite de quantification (LQ) ; elle est comprise entre 50 et 100% pour les concentrations comprises entre 1 et 5.LQ (l'incertitude augmente pour ces concentrations très proches de la limite de quantification). Pour les pesticides analysés par le LDA26, les LQ ont été comprises entre 0,005 et 0,1 µg/L (méthode multi résidus).

Tableau 59 : Micropolluants analysés, méthodes analytiques et limites de quantification (oct.-13).

Familles de micropolluants (nombre)	Micropolluants	Préparation/ Extraction + techniques analytiques	Limites de quantification (LQ)
Bêtabloquants (10)	Acébutolol, aténolol, bétaxolol, bisoprolol, métoprolol, nadolol, oxprénolol, propranolol, sotalol, timolol	SPE + LC-MS/MS	0,4 à 2,2 ng/L
Pesticides (450)	Dont AMPA, dichlorprop, fipronil, glyphosate, imidaclopride, mécoprop, monolinuron, monuron, terbutylazine déséthyl, thiabendazole, triclopyr, aclonifen ^(a) , alachlore ^(a) , atrazine ^(a) , bifénox ^(a) , chlorfenvinphos ^(a) , chlorpyriphos ^(a) , cyperméthrine ^(a) , dichlorvos ^(a) , dicofol ^(a) , diuron ^(a) , endosulfan ^(a) , heptachlore ^(a) , heptachlore époxyde ^(a) , isoproturon ^(a) , pentachlorophénol ^(a) , quinoxyfen ^(a) , simazine ^(a) , terbutryne ^(a) , trifluraline ^(a) , 2,4-MCPA ^(b) , 2,4-D ^(b) , chlortoluron ^(b) , linuron ^(b) , oxadiazon ^(b)	GCMS ou LCMS/MS	0,005 à 0,1 µg/L

(a) : Substances prioritaires (directive 2013/39/UE) ; (b) : Substances de l'état écologique (arrêté du 25 janvier 2010)

SPE : Extraction sur phase solide ; **Min.MO** : Minéralisation dans un four à micro-onde ; **LC-MS/MS** : Chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem ; **GC-MS** : Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ; **ICP-MS** : Spectromètre de masse couplé à un plasma inductif

En entrée de la ZRV de Marguerittes (point 1), plusieurs micropolluants ont été quantifiés à des concentrations (phase dissoute) supérieures à 5.LQ (Figure 70) :

- 8 bêtabloquants (parmi les 10 recherchés) : sotalol, propranolol, aténolol, acébutolol, métoprolol, bisoprolol, timolol, nadolol ;
- 6 pesticides : AMPA (acide aminométhylphosphonique), glyphosate, dichlorprop, monuron, mécoprop (MCP), et le diuron classé substance prioritaire.

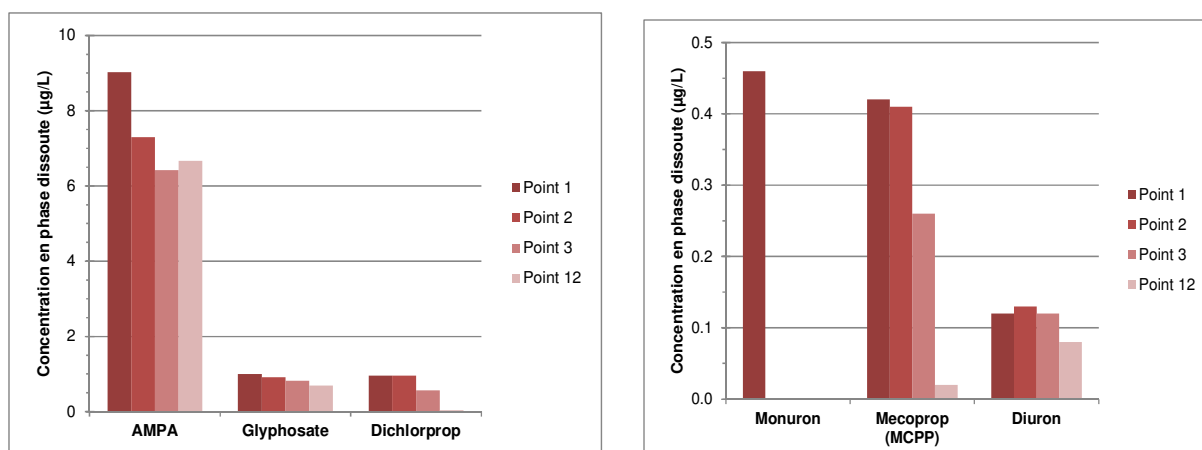
Quelques micropolluants ont été quantifiés à des concentrations (phase dissoute) comprises entre 1 et 5.LQ (Figure 70). Il s'agit de 11 pesticides (dont la simazine classée substance prioritaire, l'oxadiazon, le 2,4-MCPA, le 2,4-D appartenant à la liste des substances spécifiques de l'état écologique, mais aussi la terbutylazine deséthyl, l'imidaclopride, le triclopyr, le fipronil, le monolinuron, le pentachlorophénol, la thiabendazole et le triclopyr).

De nombreux autres micropolluants n'ont pas été quantifiés : 2 bêtabloquants (bétaxolol, oxprénolol) et 432 pesticides (dont 18 classés substances prioritaires).

Ainsi au total, sur les 3 familles de micropolluants étudiées, nous avons quantifiés au moins 1 fois, 8 bêtabloquants sur 10 et 16 pesticides sur 450.

La Figure 70 présente les concentrations (phase dissoute) en micropolluants mesurées dans les échantillons prélevés aux points 1 (sortie station), 2 (entrée ZRV), 3 (sortie B1) et 12 (sortie ZRV). Pour les pesticides, seules les concentrations supérieures à 5.LQ sont présentées.

Pesticides



Bêtabloquants

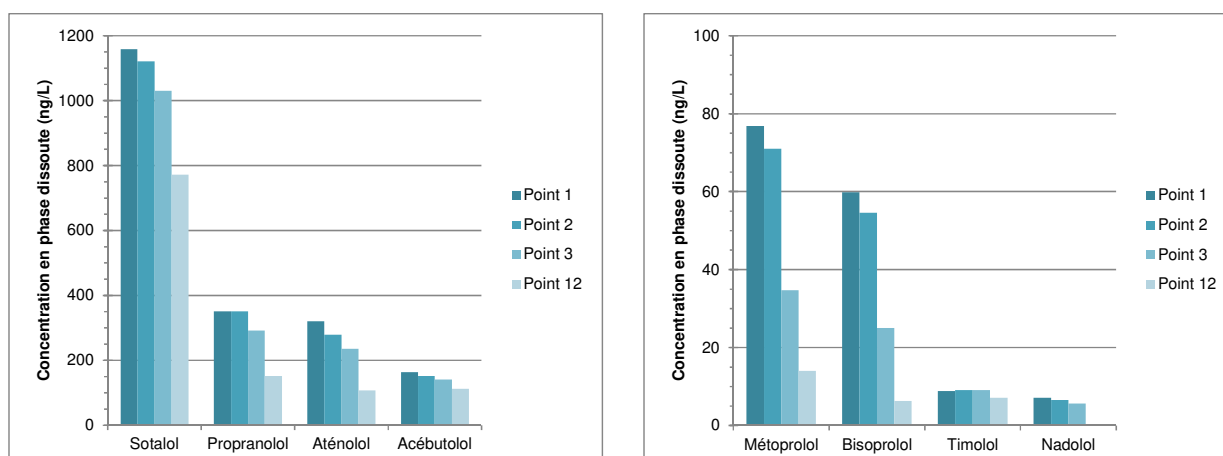


Figure 70 : Concentrations (phase dissoute) en micropolluants d'origine urbaine mesurées, sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, aux points 1 (sortie STEU-Point 1), 2 (entrée ZRV-Point 2), 3 (sortie B1-Point 3) et 12 (sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (octobre 2013).

Les points 1 (sortie station) et 2 (entrée ZRV) sont reliés par une conduite qui mène l'eau traitée de la station vers la ZRV de Marguerittes. Les concentrations en micropolluants (phase dissoute) en ces deux points sont sensiblement similaires pour les micropolluants quantifiés lors de cette première campagne, avec une différence relative inférieure à 10% en moyenne. Cependant, l'AMPA ont eu des différences relatives comprises entre 20 et 40 %, notamment car certaines des concentrations sont proches des LQ. Nous retiendrons donc que la transformation des micropolluants a été négligeable dans la canalisation qui relie la sortie de la station à l'entrée de la ZRV de Marguerittes. Lors des prochaines campagnes, nous proposons de poursuivre l'échantillonnage du point 2 seulement.

Les points 2 (entrée ZRV) et 3 (sortie B1) sont séparés par le bassin 1 de la ZRV. On observe lors de cette première campagne que les concentrations en micropolluants (phase dissoute) en ces 2 points sont similaires ou plus faibles pour les micropolluants quantifiés à plus de 5.LQ : La différence relative est comprise entre 0 et 26 % (10% en moyenne) pour 34 micropolluants ; elle est comprise entre 45 et 74 % (60 % en moyenne) pour le métoprolol, le bisoprolol, le dichlorprop et le mécoprop. Lors de cette première campagne, la diminution des concentrations en micropolluants en phase dissoute était donc très faible dans le bassin 1 de la ZRV de Marguerittes, sauf pour quelques bêtabloquants.

Les points 3 (sortie bassin 1) et 12 (sortie ZRV) sont séparés par le bassin 2. On observe lors de cette première campagne que les concentrations en micropolluants (phase dissoute) en ces 2 points sont similaires ou plus faibles pour les micropolluants quantifiés à plus de 5.LQ. La différence relative est comprise entre 2 et 30 % (12% en moyenne) pour 28 micropolluants (dont, 2 pesticides et 3 bêtabloquants) ; elle est comprise entre 33 et 174 % (90 % en moyenne) pour 12 micropolluants (dont, 3 pesticides et 4 bêtabloquants). Les concentrations de certains micropolluants ont diminué pour certains micropolluants (aténolol, propranolol, métoprolol, mécoprop). En revanche, les concentrations en sotalol, acébutolol, timolol, AMPA et glyphosate sont restées inchangées entre ces deux points du bassin 2 de la ZRV de Marguerittes.

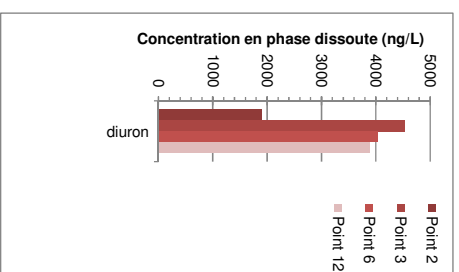
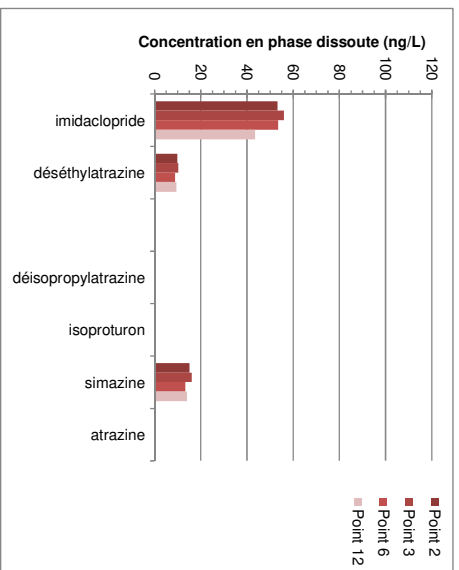
Concentrations en micropolluants mesurées aux différents points de la ZRV de Marguerittes en juillet 2015 –

Au mois de juillet 2015, des prélèvements automatiques proportionnels au débit ont été réalisés aux points 2, 3, 6 et 12, au cours de 2 périodes de 14 heures : 8-9 juillet 2015 (jour 1) et 15-16 juillet 2015 (jour 2). Lors de cette campagne, seuls les micropolluants organiques ont été analysés. Les protocoles présentés dans le Tableau 59 ont été appliqués.

Les Figure 71 et Figure 72 présentent les concentrations (phase dissoute) en pesticides et médicaments aux jours 1 et 2. Les micropolluants quantifiés sont classés dans le même ordre que pour les figures de la campagne de mars 2015.

Pesticides

Jour 1



Jour 2

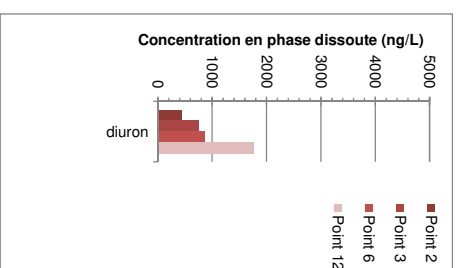
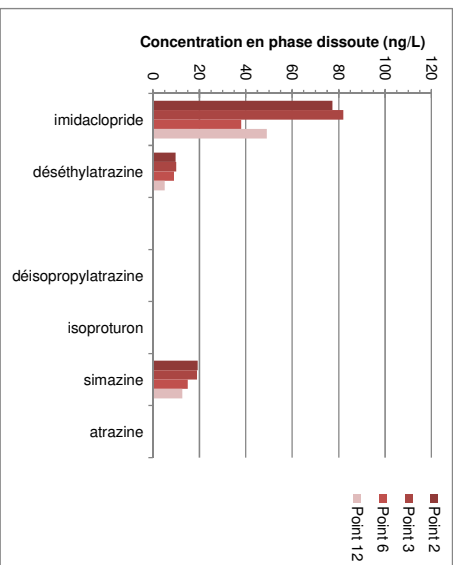
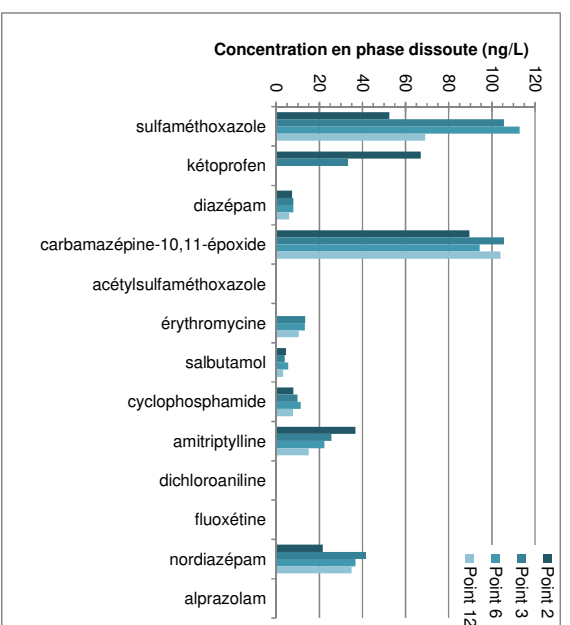
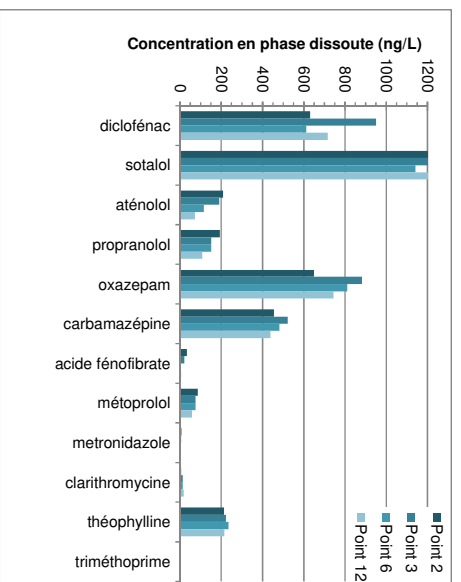


Figure 71 : Concentrations (phase dissoute) en pesticides mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (juillet 2015).

Médicaments

Jour 1



Jour 2

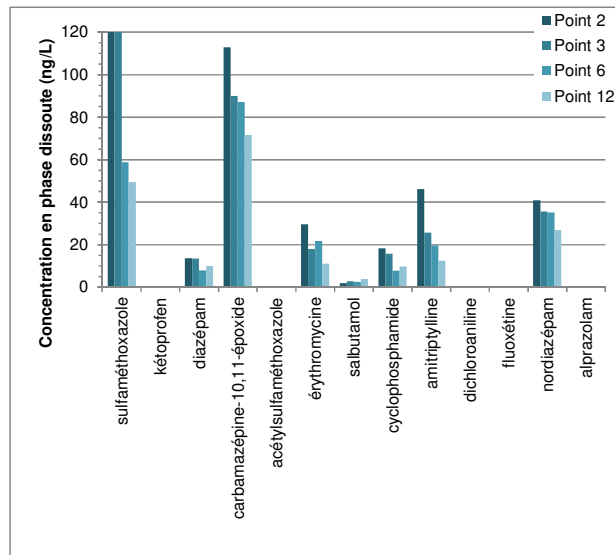
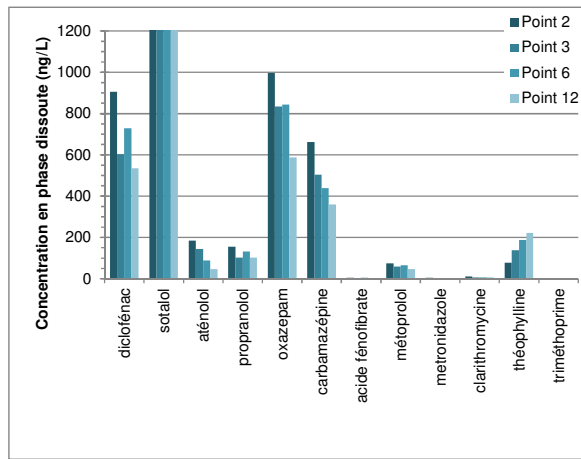


Figure 72 : Concentrations (phase dissoute) en pharmaceutiques mesurées sur les échantillons moyen 24 heures après filtration, en 4 points (entrée ZRV-Point 2 ; sortie B1-Point 3 ; intermédiaire B2 après roselière-Point 6 et sortie ZRV-Point 12) - Classement par famille et par niveaux de concentrations décroissantes (juillet 2015).

- Concentration en entrée de la ZRV (point 2)

En entrée de la ZRV de Marguerittes (Point 2), 26 micropolluants organiques (parmi les 43 recherchés) ont été quantifiés en phase dissoute, et à des concentrations supérieures à 5.LQ, y compris les métabolites recherchés. La variabilité de concentration a été faible d'un jour sur l'autre avec des RPD compris entre 0 et 30 % (15 % en moyenne) pour seulement 8 substances. Elle a été importante (RPD compris entre 36 et 150 %) pour la quinzaine d'autres substances pharmaceutiques ainsi que pour les pesticides étudiés (68 % en moyenne). On observe que la concentration en diuron est élevée (supérieure à 5000 ng/L le jour 1, contre 400 à 800 ng/L le jour 2). Un quinzaine de micropolluants n'ont pas été quantifiés, dont 3 pesticides (diméthoate, isoproturon, atrazine, pirimicarbe) et une dizaine de médicaments (triméthoprime, fénofibrate, ofloxacine, ciprofloxacine, azithromycine, acétylsulfaméthoxazole, érythromycine, dichloroaniline, fluoxépine, alprazolam)

- Concentrations dans la ZRV : points 3, 6 et 12

Au niveau des autres points de la ZRV de Marguerittes (Points 3, 6 et 12), 25 micropolluants organiques (parmi les 43 recherchés) ont été quantifiés en phase dissoute, dont une vingtaine de médicaments (parmi les 34 recherchés) et 5 pesticides (parmi les 9 recherchés), dont diuron et simazine qui appartiennent à la liste des substances prioritaires ; diclofénac, oxazéпам, clarithromycine, érythromycine et imidaclopride qui appartiennent à la liste de vigilance.

- Evolution des concentrations entre les points 2, 3 et 12 en juillet 2015

23 micropolluants ont eu des rendements R_w calculables. 17 ont été peu (voire pas) éliminés ($R_w < 30$ %) dans B1, dont 14 médicaments et 4 pesticides ; seuls 5 micropolluants ont été partiellement éliminés (R_w compris entre 30 et 70 %) pour kétoprofen, érythromycine, amitriptylline, métronidazole, acide fénofibrique. Avec l'association B1+B2, les rendements sont voisins de ceux de B1, sauf pour 3 micropolluants qui passent dans la catégorie partiellement éliminés (métoprolol, propranolol) ou bien éliminés (aténolol).

Ces faibles valeurs de rendements s'expliquent fort probablement par le développement du végétal en surface des bassins de la ZRV de Marguerittes, pénalisant la photodégradation. La sorption des micropolluants par les végétaux n'apparaît pas comme un processus pertinent.

Echantillonnage passif intégré sur 14 j (POCIS) Oct 2013
--

Les détails du protocole de terrain concernant les échantillonneurs de type POCIS, ainsi que leurs rôles et caractéristiques, sont inscrits dans le rapport Irstea-Onema intitulé « Description du matériel, des protocoles et des points de mesures sur la ZRV de Marguerittes » (2014). Lors de la campagne d'octobre 2013, des POCIS ont été installés le 24/10/2013, et retirés du milieu le 07/11/2013 (durée d'exposition de 14 jours). Ils ont été posés aux points 2, 3 et 11 tel que mentionné dans le Tableau 60.

Tableau 60 : Codes échantillons et points de mesures des POCIS - Bilan 24h d'octobre 2013 (triplicat de POCIS à chaque point + 1 blanc au point 3, noté 'bl').

Code échantillon	Descriptif
MARG-1-2-1 / MARG-1-2-2 / MARG-1-2-3	Point 2 – entrée ZRV B1
MARG-1-3-1 / MARG-1-3-2 / MARG-1-3-3 / MARG-1-3-bl	Point 3 – sortie B1 + un blanc
MARG-1-11-1 / MARG-1-11-2 / MARG-1-11-3	Point 11 – filtre en sortie B2 (sortie ZRV)

Les 15 micropolluants quantifiés dans les POCIS sont des indicateurs de pollution urbaine ; ils ont été sélectionnés parmi des micropolluants réfractaires aux traitements secondaires des eaux usées. Il s'agit de molécules d'origine pharmaceutique et de pesticides d'usage domestique ou urbain (Cf. Figure 73).

Deux micropolluants sont analysés à la fois dans les échantillons d'eau obtenus par échantillonneurs automatiques, et après échantillonnage passif de type POCIS : l'aténolol et le sotalol (des bêtabloquants), aux points 2 et 3. Si l'on compare les concentrations obtenues après l'un ou l'autre type d'échantillonnage, on observe des différences d'un facteur 2 environ (concentration 2 fois plus élevées après échantillonnage POCIS).

Ceci s'explique d'une part du fait que :

- la concentration « POCIS » est moyennée sur 15 jours d'exposition alors que la concentration dans l'échantillon d'eau est une moyenne des concentrations mesurées dans les échantillons d'eau au jour 1 (triplicat) ;
- la concentration « POCIS » est une concentration calculée à partir de constantes évaluées en laboratoire non corrigées des effets du milieu étudié. Ces constantes sont influencées par les paramètres température et agitation qui peuvent être différents entre les conditions de laboratoire et celles sur le terrain. A ce jour, l'usage de traceurs internes pour corriger ces biais n'est pas calé. La concentration « POCIS » est donc à considérer comme une valeur semi-quantitative.

On distingue 3 groupes de micropolluants si l'on se réfère aux niveaux de concentrations, Cf. Figure 73 a, b, c. Ces niveaux de concentrations varient de 1 ng/L environ pour la cyclophosphamide jusqu'à 600 ng/L pour l'aténolol. Au niveau de la ZRV, si l'on compare les points n°2, 3 et 11, on observe une baisse des concentrations de l'amont vers l'aval, en cohérence avec la tendance observée pour les échantillons d'eau constitués par échantillonneurs automatiques entre les points 2 et 3.

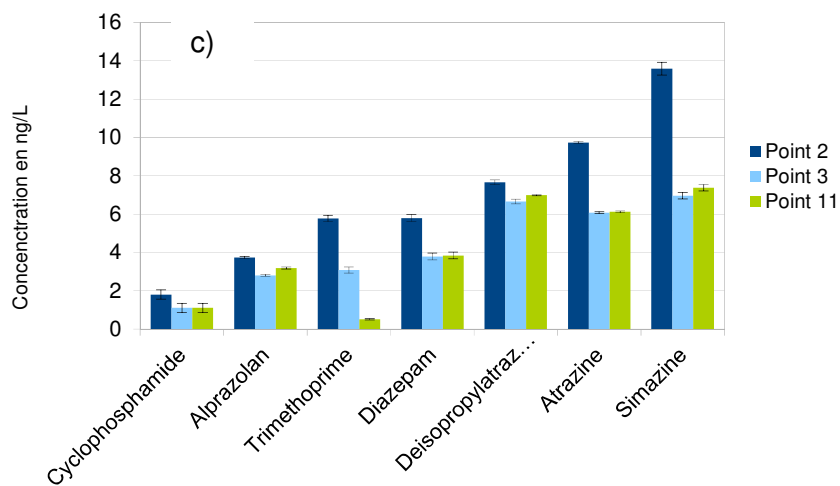
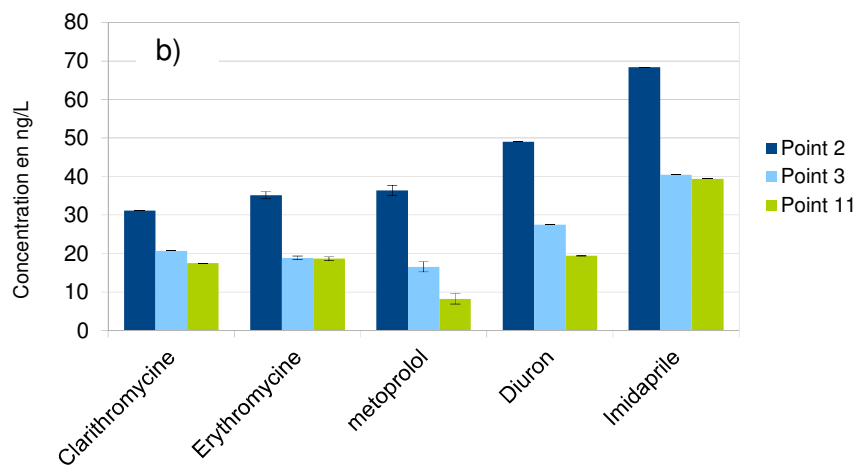
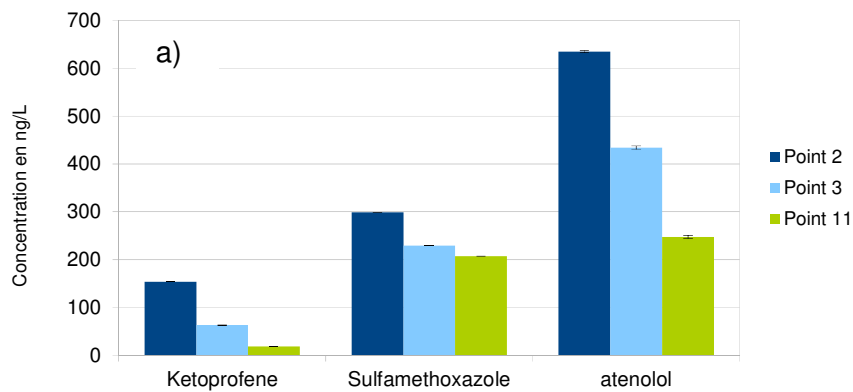


Figure 73 : Concentrations en micropolluants d'origine urbaine moyennées sur 14 jours, déterminées par échantillonnage POCIS aux points n°2 (entrée ZRV-MAG2), n°3 (sortie B1-MAG3) et n°11 (filtre en sortie B2-MAG11). Classement par niveaux de concentrations décroissants, a), b), c).

11. REMERCIEMENTS

Agence française pour la biodiversité (AFB) : notamment en tant que partenaire financier exclusif du programme de suivi.

► *Estérelle Villemagne*

Nîmes Métropole : en tant que maître d'ouvrage et coordinateur de l'entretien/exploitation du site.

► *Sabine Martin et Carine Higuinen*

Saur : pour la fourniture des données d'autosurveillance (sortie station d'épuration de Marguerittes).

► *Malorie Denozzi et Jean-Claude Feurstein*

Conseil départemental 34 : pour la fourniture du matériel (canne avec ouverture mobile en extrémité basse, grande longueur de corde...) pour la réalisation des bathymétries.

► *Jean-Pierre Sambuco et Patrick Béziat*

Equipe technique Irstea (unité de recherche REVERSAAL de Lyon) : pour l'installation et la maintenance du matériel installé sur la ZRV, l'aide au suivi bimensuel de la zone, l'aide à la réalisation des bilans 24h.

► *Clément Crétoillier, Jérémie Aubert, Olivier Garcia et Vincent Bourgeois*

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

www.afbiodiversite.fr



www.irstea.fr